JAEA-Technology
2012-049

人形峠レンガ加工場におけるレンガ製造運転報告書

Operation Report Ningyo-toge Brick Manufacturing Plant

山脇 弘幸　鳥飼 一吉　有本 洋佑

Hiroyuki YAMAWAKI, Kazuyoshi TORIKAI and Yosuke ARIMOTO

人形峠環境技術センター
環境保全技術開発部

Environmental Research and Development Department
Ningyo-toge Environmental Engineering Center

March 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

JAEA－Technology 2012-049

人形峠レンガ加工場におけるレンガ製造運転報告書

日本原子力研究開発機構　人形峠環境技術センター
環境保全技術開発部

山脇　弘幸[+1]，　鳥飼　一吉[※1]，　有本　洋佑[※2]

（2012 年 12 月 28 日　受理）

方面捨石たい積場問題の解決のため、平成 18 年 5 月 31 日、文部科学省、鳥取県、三朝町及び日本原子力研究開発機構の四者間で「方面ウラン残土の措置に関する協定書」を締結した。これにより、方面捨石たい積場から撤去した掘削土をレンガに加工する施設建設を目的として、鳥取県有地（三朝町内）を借地し、人形峠レンガ加工場を建設した。

平成 20 年 4 月 28 日、同加工場の開所式が行われた後、試運転、安定生産確認運転、本格運転を行い、平成 22 年 12 月 13 日に約 145 万個のレンガを製造して運転を終了した。

本報告書は、人形峠レンガ加工場の施設概要、試運転及び安定生産確認運転の状況並びに本格運転における実績等について報告書として取りまとめたものである。

人形峠環境技術センター：〒708-0698 岡山県苫田郡鏡野町上齋原 1550
＋1；東濃地科学センター　保安管理課
※1；技術開発協力員
※2；技術開発協力員（現所属：検査開発㈱）

JAEA－Technology 2012－049

Operation Report
Ningyo-toge Brick Manufacturing Plant

Hiroyuki YAMAWAKI[＋1], Kazuyoshi TORIKAI[※1] and Yosuke ARIMOTO[※2]

Environmental Research and Development Department
Ningyo-toge Environmental Engineering Center
Japan Atomic Energy Agency
Kagamino-cho, Tomata-gun, Okayama-ken

(Received December 28, 2012)

An agreement was concluded among MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology), Tottori Prefecture, Misasa Town and JAEA (Japan Atomic Energy Agency) on May 31st, 2006, aiming at resolving the problem due to the waste soil deposited at JAEA's Katamo Waste Soil Yards.

Based on the agreement, a plant was constructed in the land JAEA rented from the Misasa Town to manufacture bricks from the mixture of the waste soil and additives such as cement.

The plant manufactured about 1.45 million bricks during the period of operation between April 28th, 2008, and December 13th, 2010.

This report summarizes the outline of the brick manufacturing plant, the results of trial and pilot operations and the performance of full-scale operation.

Keywords:Tottori Prefecture,Waste Soil,Katamo Waste Soil Yards,Bricks

---

＋1;Safety Management Section, Tono Geoscinece Center, JAEA
※1;Collaborating Engineer
※2;Collaborating Engineer(Present affiliation:Inspection Development Company Ltd.)

目　次

1．人形峠レンガ加工場の施設概要
1.1　はじめに・・・

3.4.3　品質(外観)向上改善確認試験結果の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・35

４．本格運転
4.1　はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.2　運転概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.2.1　平成 21 年度の運転体制と状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.2.2　平成 22 年度の運転体制と状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.3　加工場の基本仕様 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38
4.3.1　レンガ製造に係る運転手順・・・・・・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・38
4.4　平成 21 年度の運転実績・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39
4.4.1　平成 21 年度の運転・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39
4.4.2　平成 21 年度の運転データ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
4.4.3　レンガの品質管理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
4.5　平成 22 年度の運転実績・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
4.5.1　平成 22 年度の運転・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
4.5.2　平成 22 年度の運転データ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
4.5.3　レンガの品質管理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
4.6　技術面等の改善 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
4.6.1　原料取出作業におけるバキュームカーの導入 ・・・・・・・・・・・・・・・43
4.6.2　供給機ホッパー内確認用ミラーの取付 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
4.6.3　原料前処理作業台の導入 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
4.6.4　真空押出機の原料過充填確認用ミラーの取付 ・・・・・・・・・・・・・・・45
4.6.5　真空押出機 のｲﾝﾊﾞｰﾀｰ電流値を
指標とした表示ランプの取付・ ・・・・・・・・・・・・・・・・45
4.6.6　成形工程における不良品レンガの選別 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
4.7　レンガの製造及び搬出 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
4.8　加工場の解体・撤去及び跡地整備 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
５．まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
謝辞　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
参考文献　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
付録
別添－１　方面捨石たい積場に関する経緯（概略）・・・・・・・・・・・・・・・・49
別添－２　レンガ加工場の人員配置・製造サイクル ・・・・・・・・・・・・・・・51
別添－３　レンガ製造フローシート ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・53
別添－４　原料の取出し及び解体作業手順 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54
別添―５　加工場建家解体及び跡地整備工事の状況 ・・・・・・・・・・・・・・・56
別添―６　人形峠製レンガの設置・敷設例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・59

Contents

1. Summary of brick manufacturing plant facilities in Ningyo-toge Environmental Engineering Center
1.1 Introduction ・・・

3.4 Quality (the appearance) improvement confirmatory test・・・・・・・・・・27
3.4.1 Method and procedure・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
3.4.2 Result・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
3.4.3 Evaluation ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35

4. Full-scale operation
4.1 Introduction ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.2 Summary ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・37
4.2.1 Operation system and the situation of 2009 ・・・・・・・・・・・・・37
4.2.2 Operation system and the situation of 2010 ・・・・・・・・・・・・・37
4.3 Basic specifications of the manufacturing plant ・・・・・・・・・・・・38
4.3.1 Operation procedure for brick manufacturing ・ ・・・・・・・・・・・38
4.4 Operation results of 2009・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39
4.4.1 Outline・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・39
4.4.2 Data ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
4.4.3 Quality control of the brick ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・40
4.5 Operation results of 2009・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
4.5.1 Outline・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
4.5.2 Data ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
4.5.3 Quality control of the brick ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
4.6 Improvement of technical aspects ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
4.6.1 Introduction of the vacuum truck in waste soil extraction work・・・43
4.6.2 Installation of the mirror for confirmation in supply machine Hopper ・・44
4.6.3 Introduction of the bench for waste soil pretreatment・・・・・・・・44
4.6.4 Installation of the mirror for checking the waste soil overfilling of vacuum extruder ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
4.6.5 Installation of the lump on vacuum extruder as an indicator to display the current of the inverter ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
4.6.6 Sorting of defective brick in the molding process ・・・・・・・・・・46
4.7 Production and export of the brick・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
4.8 Demolition and removal of processing plants and site maintenance ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
5. Summary ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
Acknowledgements ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
References ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
Appendix
Annex-1 History on Katamo Waste Soil Yards (outline)・・・・・・・・・・・49
Annex-2 Staff of bricks processing plant and bricks production cycle・・・51
Annex-3 Flowsheet of bricks manufacturing ・・・・・・・・・・・・・・・・53

Annex-4 Procedure of waste soil extraction and removal
of processing plants ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54
Annex-5 Situation of demolition and removal of processing plants and site
Maintenance ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・56
Annex-6 Cases of installation and laying of the bricks ・・・・・・・・・・59

図表目次

（図目次）

図 1.1　方面捨石たい積場 捨石撤去工事エリア・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
図 1.2　加工場建設地、原料搬入状況、原料保管場 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
図 1.3　加工場位置図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
図 1.4　加工場建家の建設状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
図 1.5　２階電気室 高圧受変電盤・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
図 1.6　換気機械室 ﾊﾞｸﾞﾌｨﾙﾀｰ装置 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6
図 1.7　加工場２階 レンガ製造機器配置図(原料調整工程)・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
図 1.8　加工場１階 レンガ製造機器配置図(混練・成形工程)・・・・・・・・・・・・・・・・・10
図 3.1　レンガ切断ピアノ線とバリ押え治具 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
図 3.2　除根治具 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
図 3.3　加工場２階 機器配置図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
図 3.4　原料粉砕粒度の細粒化～レンガ切断面のバリ押え治具設置の確認運転手順 ・・・31
図 3.5　再生原料処理方法改善の確認運転手順 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
図 3.6　レンガ切断表面の比較(粉砕粒度 2㎜以下と 2.5㎜以下) ・・・・・・・・・・・・・33
図 3.7　レンガ切断表面の比較(ピアノ線径 0.8㎜と 1.0㎜) ・・・・・・・・・・・・・・・・34
図 3.8　バリ押え治具(左)とレンガ切断表面(右) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・34
図 3.9　除根治具(左)と運転状況(右) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
図 4.1　間詰土の除去状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
図 4.2　ﾊﾞｷｭｰﾑｶｰによる除去状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
図 4.3　ホッパー上部への鏡の設置状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
図 4.4　前処理作業状況と作業台 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44
図 4.5　真空押出機上部の鏡の設置状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
図 4.6　インバーター電流値 表示ランプの設置状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
図 4.7　不良品レンガの選別状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46

（表目次）

表 2.1　Ｄ原料の大粒径分布 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
表 2.2　Ａ，Ｂ，Ｃ原料の有機酸分析値 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
表 2.3　Ａ，Ｂ，Ｃ原料の重量 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
表 2.4　高炉スラグの元素の溶出抑制結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
表 2.5　高炉スラグの圧縮強度への影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
表 2.6　Ａ，Ｂ，Ｃレンガの圧縮強度の変化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
表 2.7　圧縮強度の品質(JIS 規格 R1250)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
表 2.8　Ｄレンガの圧縮強度の変化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
表 3.1　事前教育指導の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
表 3.2　レンガ製造運転実務指導の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
表 3.3　レンガ製造実務運転指導におけるレンガ製造実績 ・・・・・・・・・・・・・・・・・23
表 3.4　原料調整工程の処理実績 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
表 3.5　混練・成形工程の処理実績 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
表 4.1　普通レンガの品質（圧縮強さ）（参考：JIS R 1250） ・・・・・・・・・・・・・・40
表 4.2　普通レンガの寸法及び寸法許容差 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41

1．人形峠レンガ加工場の施設概要

1.1　はじめに

平成 18 年 5 月 31 日、文部科学省、鳥取県、三朝町及び日本原子力研究開発機関（以下「機構」という。）の四者間によって締結された「方面ウラン残土の措置に関する協定書」に基づき、方面掘削土（以下「原料」という。）をレンガに加工して搬出するために、県境にある鳥取県有地（旧倉吉農業高校演習林）を借地し、人形峠レンガ加工場（以下「加工場」という。）の建設を行った。

なお、平成 18 年度に実施された方面捨石撤去工事において、方面捨石たい積場から加工場の原料保管場に大型土のう袋に入れられた原料が運搬・集積された。

平成 18 年度に加工場建家の設計及びレンガ製造設備の標準設計を実施し、平成 19 年度に加工場建家の建設工事を行い、平成 20 年 3 月に加工場建家が竣工した。

レンガ製造機器設備については、平成 19 年 6 月から平成 20 年 7 月にかけてレンガ製造設備機器の設計・製作・据付・試運転が実施された。平成 20 年 4 月～5 月にレンガ製造設備機器が所定の能力を有していること及び基準に合致したレンガ製品が得られることの確認並びにレンガ製造における基本条件を定めるための試運転を行い、合わせて物性確認試験用のレンガを製造した。

なお、別添−１に方面捨石たい積場に関する経緯（概略）を示す。また、月刊エネルギーレビュー2009 年 1 月号に、「人形峠・ウラン残土は今」と題して、レンガを製造するに至った経緯等を掲載している。

1.2　原料保管場の概要

鳥取県東伯郡湯梨浜町（旧東郷町）方面地区自治会と締結した「ウラン残土の撤去に関する協定書」に関して、平成 16 年 10 月の最高裁により確定された鳥取地裁判決を履行するため、方面捨石たい積場敷地内の撤去対象となっている箇所の捨石を掘削し、加工場の原料保管場への運搬・集積を行うことを目的として、平成 18 年 5 月 31 日に現地着工し、12 月 28 日の完工まで、方面捨石撤去工事が行われた。

方面捨石たい積場の捨石撤去工事エリアを図 1.1 に示す。

岡山県との県境に隣接する原料の保管場予定地では、敷地造成工事に先立って調査ボーリング（１ヶ所）を実施し、地盤構成、土質性状を把握した上で、原料を保管した場合の敷地の安定性、既設ブロック積み擁壁に与える影響について確認を行った。

原料保管場の敷地造成工事は、平成 18 年７月 6 日より工事が開始され、原料保管場への進入路、沈砂池、周辺排水路等の設置、原料保管場基礎部の整備（保護砂敷、敷鉄板、木製合板張、遮水シート敷等）を順次行い、8 月 10 日から方面捨石たい積場から原料の受入れを行い、11 月 11 日に大型土のう袋 2640 袋に入った原料の搬入を完了した。集積された大型土のう袋は、順次遮水シートで覆い、さらに遮水シートの飛散防止として遮水シート上に単管を組み込んだ。

図 1.2 に加工場建設地及び原料保管場への原料（大型土のう袋）の搬入状況並びに原料保管場の状況を示す。

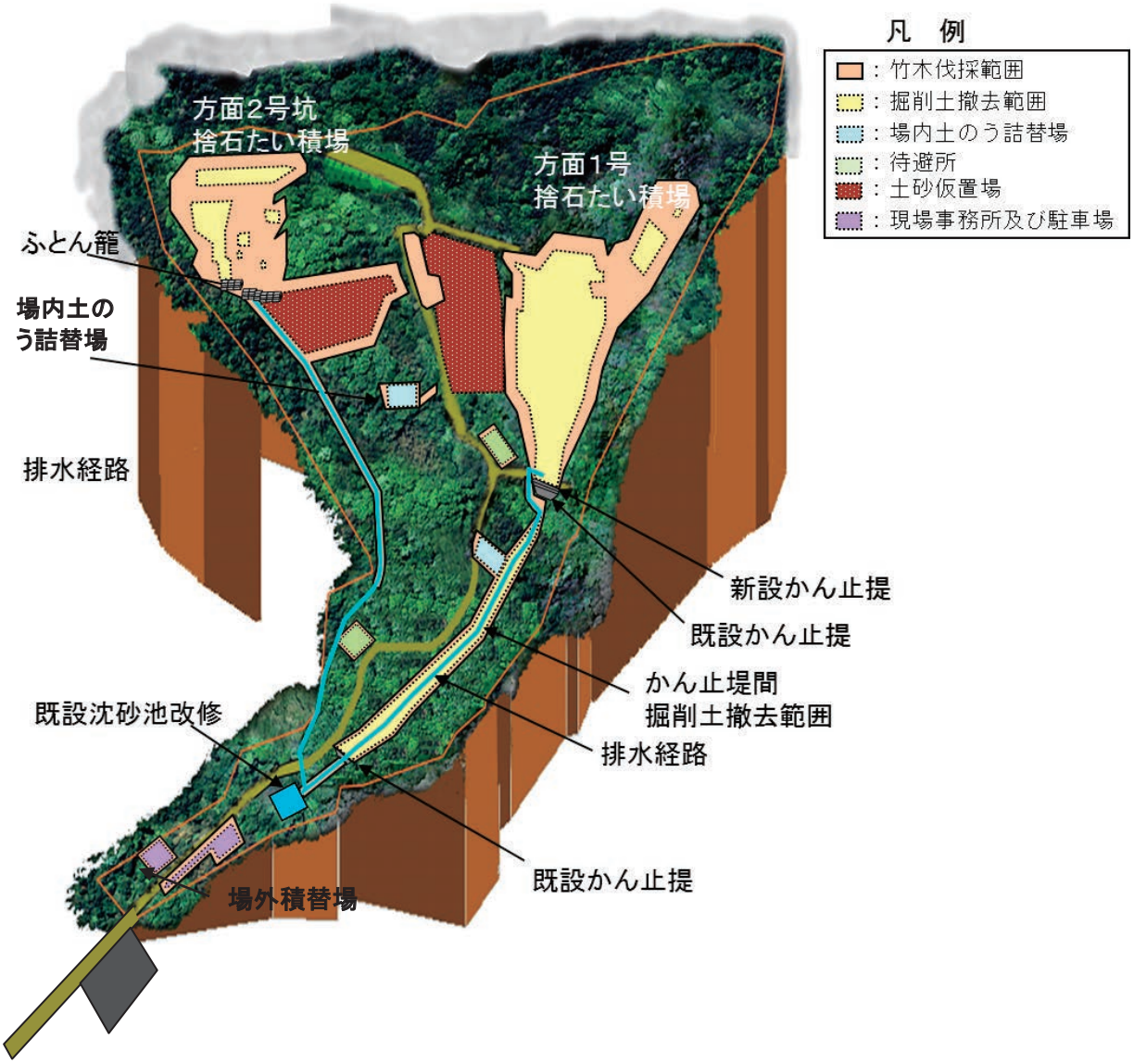


図 1.1　方面捨石たい積場 捨石撤去工事エリア

加工場建設地の航空写真

加工場建設地

方面掘削土（原料）の搬入状況

原料の線量測定

原料保管場遠景

原料保管場

図 1.2 加工場建設地、原料搬入状況、原料保管場

1.3　加工場建家の概要

加工場の建設にあたっては、レンガの製造方法を決め建家設計に反映する必要がある。

レンガの製造方法は、方面掘削土を用いて焼成レンガ及び非焼成レンガの試作を行い、試作状況や圧縮強度等の試験結果から、セメント固化方式を決定し、建家の設計を行った。

なお、レンガの製造方法の決定までの間、民間のレンガ製造会社の製造現場を見学すると共に、製造方法に係る技術的な意見交換を行い、レンガ製造に関する知見を広めた。

加工場建家の建設場所は、県境から４m離れた鳥取県側の鳥取県有地を借地し、敷地造成工事を行った。

敷地造成工事では、土留擁壁が設置され、グラウンドアンカー88 本（永久アンカーの除去タイプ）が打設された。

1.3.1　建家概要

建設場所　　鳥取県東伯郡三朝町大字木地山字札谷 1240 番４（鳥取県有地）
（加工場位置図参照）

敷地面積　　4,816.03 ㎡

階数・構造　地上２階、鉄骨造

基礎　　ＰＨＣ杭 350φ（本数：111 本）

建築面積　　1,005.23 ㎡

延床面積約　1,743.65 ㎡（１階：738.42 ㎡　２階：1,005.23 ㎡）

外部仕上　　（屋根）折板　着色亜鉛メッキ鋼板　ｔ＝1.0
（外壁）金属製サイディング　着色亜鉛メッキ鋼板　ｔ＝0.6

図 1.3 に加工場位置図及び図 1.4 に加工場の建設状況等を示す。

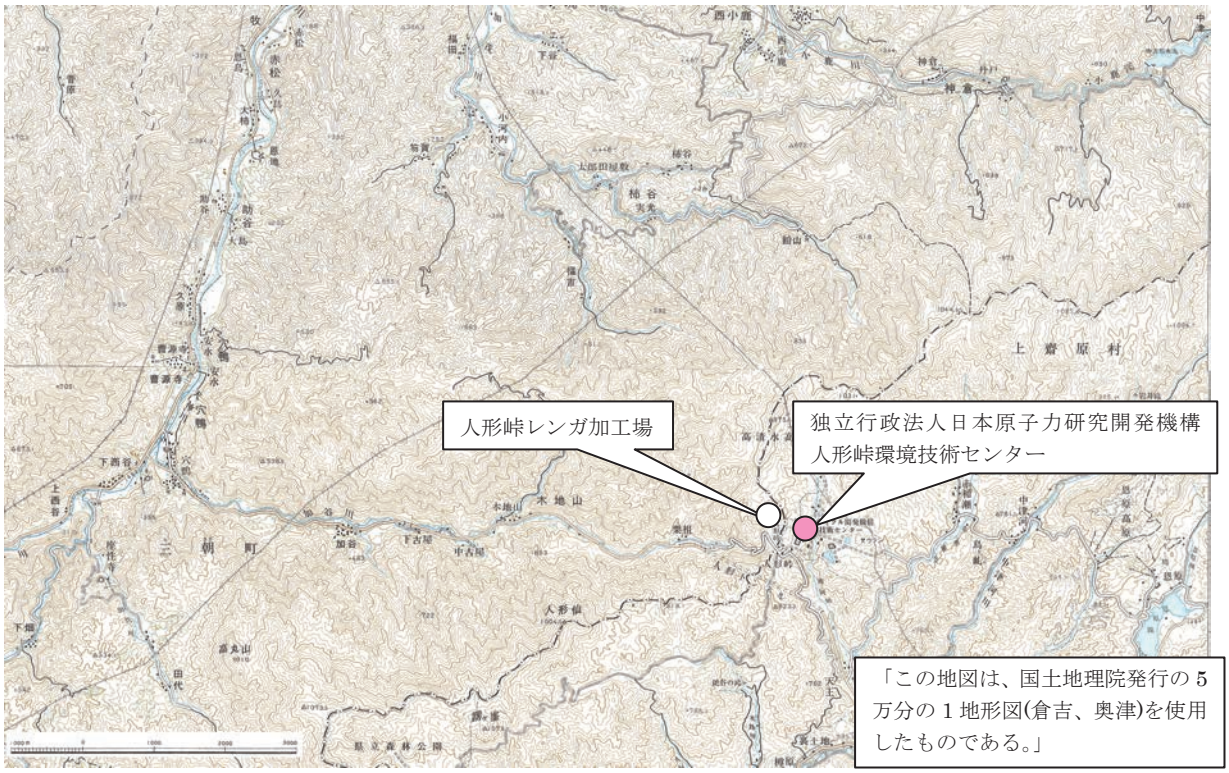


図 1.3 加工場位置図

土留擁壁と基礎杭打設工事状況

建家基礎工事状況

加工場建家工事状況

完成した加工場建家

図 1.4　加工場建家の建設状況

1.3.2　受変電設備

高圧受変電設備をリースし、2 階電気室に設置した。

自家用電気工作物の保安業務は、財）中国電気保安協会に委託した。

図 1.5 に高圧受変電盤の設置状況を示す

図 1.5　2 階電気室 高圧受変電盤

1.3.3　換気設備

加工場作業現場への給気は換気扇で行い、排気は、設計風量 13,700 ㎥/h のバグフイルター装置を 2 階の換気機械室に設置した。

粉じん発生機器となるロールクラッシャー、石抜機、スーパークラッシャーについては、排気ダクトを機器に取り付け排気を行った。

図 1.6 にバグフィルター装置の設置状況を示す。

図 1.6　換気機械室 ﾊﾞｸﾞﾌｨﾙﾀｰ装置

1.3.4　消火設備

自動火災報知盤、パッケージ型屋内消火設備（I 型） 5 台（2 階：3 台、1 階：2 台）及び ABC 粉末消火器 10 型 8 個（2 階：5 個、1 階：3 個）並びに熱感知器 115 個、煙感知器 2 台を設置した。

1.3.5 給排水設備

給水設備については、人形峠原子力産業㈱の事務所に引き込まれている既設給水管より40A 配管にて加工場に分岐引込みを行った。

排水設備については、合併処理浄化槽を設け、道路側溝に放流した。

1.4 レンガ製造設備機器の概要

加工場へのレンガ製造設備機器の据付・調整については、平成 20 年 2 月 12 日から機械の設置位置を決める墨打ち作業を開始し、2 月 20 日からレンガ製造設備機器の搬入・据付作業を行った。

平成 20 年 3 月 25 日にレンガ製造設備機器の搬入・据付作業が完了し、3 月 26 日から機器の調整作業に着手した。

平成 20 年 4 月 1 日、2 日に原料保管場から原料（大型土のう袋 45 袋）の取出しを行い、原料を用いた機器の調整作業を開始した。

機器の調整は、セメント、高炉スラグ、顔料及び硬化剤の副原料（以下「セメント等の副原料」という。）を添加していない原料を用いて、供給機切出量の設定のほか機器単体による運転調整及び製造ライン工程の調整をへて、4 月 14 日よりセメント等の副原料を添加した原料による試運転を行った。

平成 20 年 4 月 28 日に加工場の開所式が行われ、平成 20 年 5 月 7 日～10 日にかけ物性確認試験に供するレンガの製造を行った。

レンガ製造フローシートを別添-３に示す。

1.4.1 レンガ製造設備主要機器

(1) 原料調整工程における主要機器

原料調整工程は、加工場の 2 階に機器が設置され、供給機への原料の受入れから、原料に高炉スラグを添加し、原料中の岩石を粉砕し粒度を整えて調整原料を製造する工程である。

図 1.7 に原料調整工程におけるレンガ製造機器配置図を示す。

①原料調整工程の主要機器

・供給機（原料）

設定供給量に従い、一定量の原料を工程に供給。

・高炉スラグサイロ

高炉スラグを保管し､一定速度で回転するスクリューコンベアによる押出しにより高炉スラグをサイロから粉体供給機へ搬送。

・粉体供給機(高炉スラグ)

設定供給量に従い、一定量の高炉スラグを工程に供給。

・石抜機

30㎜の大きさを基準に、原料に含まれる岩石片を選別。

選別後、

粒径＞30㎜はスーパークラッシャーへ搬送

粒径＜30㎜はロールクラッシャーへ搬送

・スーパークラッシャー

石抜機で選別された 粒径＞30㎜の岩石片のみを　粒径＜10㎜まで粉砕する。粉砕後の岩石片は工程に戻し、再度石抜機へ投入。

・ロールクラッシャー

原料を 2.3㎜以下の粒径に細粉砕。

・スクリーンフィーダー

加水しながら、細粉砕した原料と高炉スラグを練り込み、機器外周に設置されたスクリーンから原料を漉し出す。

(2) 混練・成形工程における主要機器

混練工程は、加工場 1 階に機器が設置され、原料調整工程で調整された調整原料を受入れ、セメント、顔料、硬化剤等を調整原料に添加し、加水混練して配合原料を製造する工程である

成形工程も加工場 1 階に機器が設置され､混練工程で製造された配合原料を真空押出機に供給し、押出成形されたレンガ生地を、荒切した後、面取り切断を行い、最終的なレンガ形状として養生パレットに積載する。なお、切断時に生じた切り屑等は、工程に戻した。

図 1.8 に混練・成形工程におけるレンガ製造機器配置図を示す。

①混練工程の主要機器

・供給機（2 階；調整原料）

設定供給量に従い、一定量の調整原料を工程に供給。

・スケールコンベア

供給機から工程に供給される調整原料を計測し、所定量を供給した時点で供給機を停止。

・セメントサイロ（2 階）

セメントを保管し、一定速度で回転するスクリューコンベアによる押出しによりセメントをサイロから粉体供給機へ搬送。

・粉体供給機（セメント）

設定供給量に従い、一定量のセメントを工程に供給。

・粉体供給機（顔料）

設定供給量に従い、一定量のレンガ着色用顔料を工程に供給。

・定量加水装置

設定供給量に従い、硬化剤、遅延剤を工程に供給。

・混水混練機

調整原料、セメント、顔料、硬化剤、遅延剤をムラ無く混ぜ合わせ成形に必要とする十分な可塑性を出すために混練。

・ストックコンベア

一定時間に２回の混練を行うため、コンベア上に原料をストック。

②成形工程の主要機器

・供給機（配合原料）

設定供給量に従い、混練された原料を一定量工程に供給。

・真空押出機

真空脱気しながら原料の密度を高め、レンガ生地として押出成形をする。

・切断機

真空押出機から押し出されたレンガ生地を定寸切断してレンガ形状とする。

・レンガ移載機

切断機にて切断した成形品を養生パレット上に順次移載。

・パレット供給機

レンガ移載機へ養生パレットを順次供給。

・積込機

規定数の成形品を積んだ養生パレットを養生台車に積み込む。

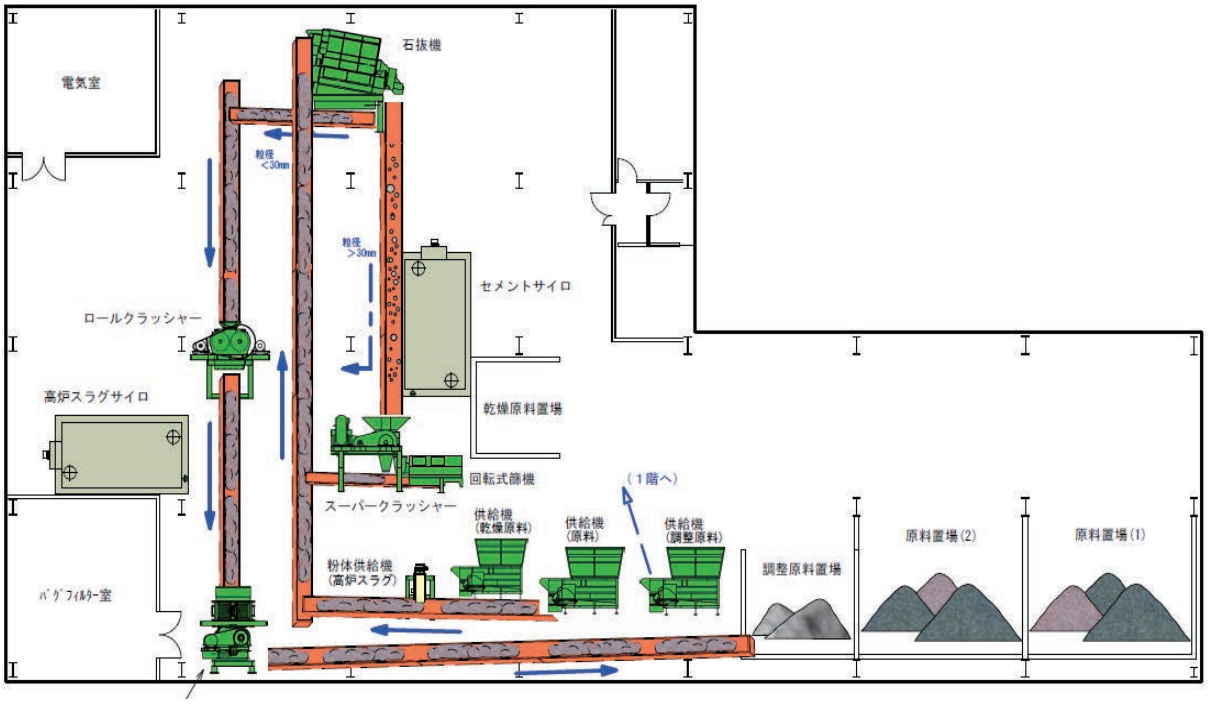


図 1.7　加工場 2 階 レンガ製造機器配置図（原料調整工程）

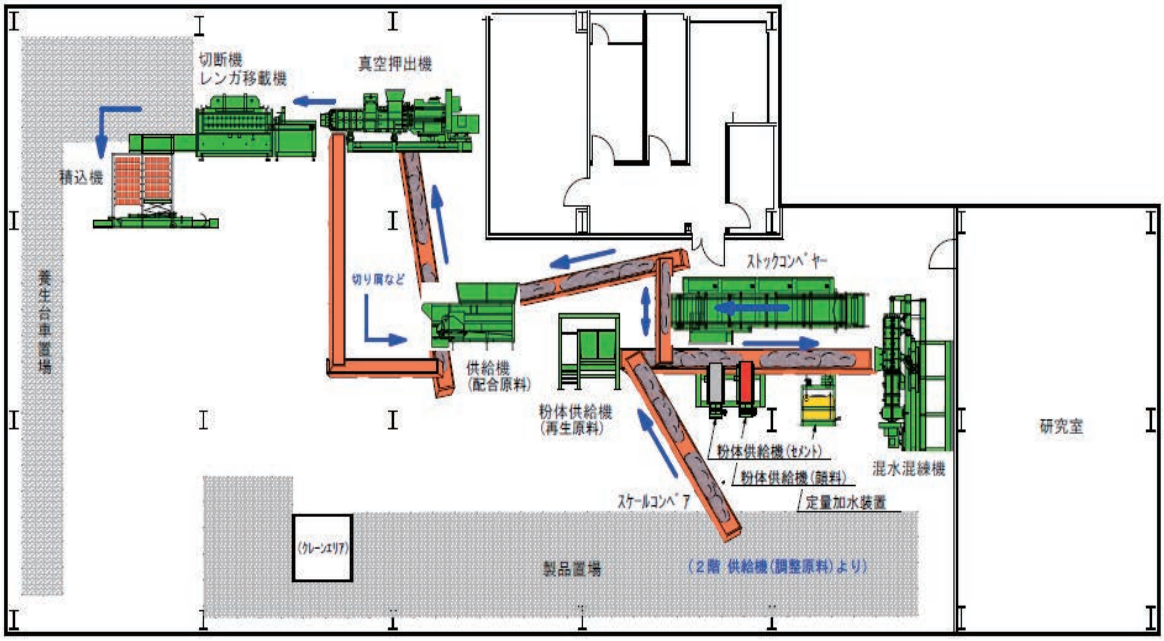


図 1.8　加工場 1階 レンガ製造機器配置図（混練・成形工程）

２．試運転

2.1　はじめに

加工場の建設にあたり、原料をレンガに加工する方法としてどのような製造方法が一番適しているのか、レンガの試作品を製作し確認を行った。

レンガの製造方法としては以下のものがある。

① 高振動加圧即時脱型方式によって製造されるコンクリート製ブロックであるインターロッキングブロック。

② 主として粘土を原料とし、混練、成形、乾燥、焼成によって製造される焼成レンガ。

③ 亀井製陶㈱が「無焼成レンガブロックの製法」として特許を取得したもので、焼却灰等の廃棄粉体を原料にして、セメント、硬化剤、水等を加え混合、混練、成形、自然乾燥によって製造する無焼成レンガ。

上記①で試作したインターロッキングブロックの曲げ強度は、2.1N/ ㎜^{2} 及び 3.8N/㎜^{2} で、普通インターロッキングブロックの曲げ強度の規格値である 4.9N/㎜^{2} 以上の値は得られなかった。

上記②で試作した焼成レンガの圧縮強度は、普通れんが 2 種の規格値である 15N/㎜^{2} 以上を満足していたが、成形後の乾燥時にひび（乾燥切れ）が入りやすく、窯入れから焼きあがりまでに約 40 時間が必要で、焼成後に不良品（ひび）が発生し易いことが確認された。

上記③で試作した無焼成レンガの圧縮強度は、普通れんが 2 種の規格値である 15N/㎜^{2} 以上を満足し、焼成レンガと違い成形後における乾燥及び焼成の必要が無いことから技術的な課題も少なく、レンガ製造も比較的容易であることが分かった。

以上の試作レンガの試験結果等から、レンガの製造方法の選択に係る検討が行われ、無焼成レンガによる製造方法が決定された。

平成 18 年度に加工場の建家設計及びレンガ製造設備の標準設計が実施され、平成 20 年 3 月 13 日に加工場建家が竣工された。

平成 19 年 6 月から平成 20 年 7 月にかけレンガ製造設備機器の設計・製作・据付・試運転が実施され、平成 20 年 4 月～5 月にレンガ製造設備機器が所定の能力を有していること及び基準に合致したレンガ製品が得られることの確認並びにレンガ製造における基本条件を定めるための試運転を行い、合わせて物性確認試験用のレンガを製造した。

なお、本報告では、(財)原子力安全技術センターで実施した物性確認試験に用いられた原料の表面線量範囲でＡ、Ｂ、Ｃと分類し、「レンガ製品の物性確認試験報告書」の中で、Ａ原料、Ｂ原料及びＣ原料と記載されていることから、試運転に用いた原料をＤ原料として記載する。

2.2　原料の調査

2.2.1　設備・製品試験用原料

レンガ製造設備機器の能力や製造したレンガ製品が基準に合致することを確認するために、原料保管場から無作為に取り出した原料約 38ｔ(大型土のう袋 30 袋)を準備した。この原料をＤ原料とする。

大型土のう袋に入れられた各々の原料の重量は原料保管場から取り出す際にクレーンの

フックに取り付けたロードセル重量計で測定した。その結果、原料の入っている大型土のう袋の重量は、最大 1.57ｔ、最小 1.06ｔであり、平均 1.26ｔであった。

原料を設備に供給するに当たっては、原料供給機の供給構造から岩石の大きさが 150 ㎜以下でなければならないことから、原料 37,575kg について大粒径調査を行った結果は、表 2.1 に示すように、100 ㎜以上の岩石が 3.7%以上混入していることを確認した。

表 2.1　D原料の大粒径分布

＜100㎜	100～150㎜	150～200㎜	＞200㎜	合計
36,199.3kg	671.8kg	417.0kg	286.9kg	37,575kg
96.3%	1.8%	1.1%	0.8%	100%

この結果から、工程に投入する前に、ハンドクラッシングが必要な塊状の石は想定よりも少なかった。

一方、原料には竹木根等が多く混入しており、探鉱における掘削当時のものと思われる発破の導線なども混入していることを確認した。

レンガ製品の外観を向上させることとレンガ製造工程での機械的なトラブルを避けるためには、これらを丁寧に取り除かなくてはならないが、その作業はレンガ製造作業量の全体を相当圧迫することから、本格運転開始までに岩石の選別方法及び竹木根等の除去方法について検討することにした。

原料中の含水量については、降雨時に掘削を行ったこともあり、原料中に含水量を多く含むとレンガ製造に支障を来たすことから、水分調整をおこなうための乾燥原料を供給する供給機を設置したが、D原料には水分調整を実施するような状態のものは無かった。

D原料に含まれる水分は、工程を移動する際並びにロールクラッシャーで粉砕することによって、大気に触れる面が大きくなることから、約１７％あった水分が粉砕後には１４％～１２％に減少していた。

原料中に含有する第 2 種特定有害物質（環境省告示 29 号に規定されている元素類）は、原子力安全技術センターに依頼した「物性確認試験」の結果から、基準値以下であることが確認された。

2.2.2　物性確認試験用原料

物性確認試験用の原料を、A原料：0.15μSv/h 以下、B原料：0.2μSv/h～0.35μSv/ h、C原料：0.40μSv/h 以上とフレコンバック表面の線量で区分し、各 5 袋を取り出した。

A原料は方面 1 号捨石たい積場の法尻を止める「かん止堤」の下流部（Ⅰ．人形峠レンガ加工場の施設概要の「図 1.1 方面捨石たい積場 捨石撤去工事エリア」参照）に堆積したものであり、捨石たい積場内の掘削土であるB、C原料に比べて、細粒のものが多く、表 2.2 の分析値が示すように、腐食土であるフミン酸及びフルボ酸を多く含んでおり、そのままでも可塑性を有していたが、地表および地表に近い部分にたい積していたものであることから竹木根等の異物はB、C原料より相当多く観察された。B原料はC原料に比べて粘性はやや強いがA原料に比べると粘性は相当に弱く、C原料は粘性が殆どない真砂土状のものであった。しかし、竹

木根等は３原料の内では最も少なかった。

また、重量においても表 2.3 に示すようにＡ原料はＢ、Ｃ原料と比較して 10%程軽いものであった。

表 2.2　A，B，C原料の有機酸分析値

	Ａ原料	Ｂ原料	Ｃ原料
フミン酸	240mg/kg	120mg/kg	<50mg/kg
フルボ酸	330mg/kg	290mg/kg	<50mg/kg

表 2.3　A，B，C原料の重量

	Ａ原料（kg）	Ｂ原料(kg)	Ｃ原料(kg)
1	1131	1469	1404
2	1129	1390	1406
3	1145	1432	1017
4	1160	1135	1490
5	1209	1263	1352
合計	5774	6689	6669
平均	1155	1338	1334

2.3　原料の調整試験

大型土のう袋毎に原料を原料置場で広げて、竹木根等の異物を除去するとともに原料供給機の構造上、工程に供給できる最大の粒径は 150 ㎜以下であることから、粒径が 150 ㎜以上と思われる石を手作業で選別し、ハンマーで小割りした。

約６ｔの原料を１バッチとしてショベルローダーで粗混合した後、原料供給機に投入したが、供給機の掻き羽根ピンに大きめの石が噛みこみ、供給機が過負荷となり、供給機の自動停止が繰り返されたことから、掻き羽根ピンの長さを短めにして対応した。

高炉スラグを原料の重量に対し６%を添加しつつ粉砕工程(石抜機、スーパークラッシャー、ロールクラッシャー)に送って３㎜以下に粉砕した。しかし、成形工程(ピアノ線による切断)において切断面が粗すぎる、バリが多く発生する、切断面から小さな欠片が落ちるなどの現象があり、Ａ，Ｂ、Ｃ原料については、ロールクラッシャーのロール間隙を 2.5 ㎜に調整して試運転を行った。

高炉スラグを加えて３㎜以下､または 2.5 ㎜以下に粉砕した原料に可塑性を持たせるために、スクリーンフィーダーで少量の水を加えながら練り込み、手による感触によって可塑性（硬さ）等の確認をしたが、原料によって混練後の含水率に変動があり、レンガ製品の良否を決定する要因の一つとして、注意して対応する必要があった。

また、この工程において手作業でとりのぞけなかった竹木根等がスクリーンフィーダーのスクリーンに絡み一部取り除かれた。

Ａ原料およびＤ原料については、調整後の原料「以下「調整原料」という。）の中に手を入れ

ると若干の発熱が確認されると共にわずかに臭いを発した。Ａ原料はこの工程において可塑性及び粘性を有していたが、Ｃ原料はＡ原料に比べて可塑性が非常に弱かった。
練り込みが終了した調整原料を一夜保管した後、翌日成形加工した。

2.4　成形加工試験

Ｄ原料の調整原料 1.2ｔを１バッチとして、ポルトランドセメント 17%、顔料 0.5%、硬化剤 0.5%を添加して、混水混練機で２度練り込んだが、その間(約２０分)にセメントによる硬化が始まったことで可塑性がなくなり、成形加工する真空押出機の出口でたてに２つの大きな亀裂が発生すると共に角の部分にも多くのひび割れが発生し製品にすることができなかった。

その現象を解消するために､生コンに用いられることがある硬化を遅らせる遅延剤(竹本樹脂㈱製 高性能ＡＥ減速剤ﾁｭｰﾎﾟｰﾙ HP-11R)の添加や強度がやや犠牲になるが加水量を増加させた。これら２つの対策によって成形が可能となり、Ｄ原料の残りとＡ，Ｂ、Ｃ原料を用いた試験にはすべて遅延剤を添加し加水量を増やした。

この工程において、Ａ原料は他原料よりも腐植土を含む細粒土が多かったことで、粘性と充分な可塑性が見られた。一方、Ｃ原料は真砂土状のもので可塑性が弱かったことから、Ａ原料の場合よりもやや加水量を増やすことによって何とか可塑性を得たが、粘性は弱いものであった。

混水混練機で練り込んだ原料を真空押出機(真空度約 11.3kPa)に供給して羊羹状の中間製品(100 ㎜×210 ㎜×約 1500 ㎜)を製造する。この過程において、上述したように、遅延剤を加えない場合は主に中心付近に大きな亀裂が入り半分に割れる現象が発生して製品にすることができなかった。特にＡ原料においては可塑性を充分に備え粘性も認められたことから、亀裂の入るような現象は無いと考えられたが、上記の現象が度々発生し、製品の歩留まりが極端に低下した。亀裂の入る原因として考えられたのは、Ａ原料中には、腐食土等の不純物が多く混入していたことから、真空押出機から中間製品が押出される際の引張応力等に耐えきれず亀裂が入ったものと考えている。

真空押出機から出てきた中間製品を、60 ㎜間隔に張られたピアノ線に押し付けて規定のサイズ(厚さ 60 ㎜×幅 100 ㎜×長さ 210 ㎜)に切断する。Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ原料に係わらずこの過程において切断面が問題になる。竹木根等が多く混在している場合は切断面にすじ状の傷が発生する。太い場合は５㎜ほどの溝状の傷が発生することがある。試験開始当初は３㎜以下に粉砕した原料を用いていたが、切断面が粗すぎることから、2.5 ㎜以下に粉砕調整を行った。その結果やや改善することができた。

Ｄ原料の不良品レンガを粉砕したものを原料に混ぜてレンガを製造する試験も行ったが、３㎜以下に粉砕したものを添加したことからレンガの切断面は粗いものとなったが、レンガを製造する上において、不良品レンガを再利用することに問題はなかった。

2.4.1　高炉スラグについて

加工場のレンガ製造プロセスを設計した亀井製陶㈱は、セメント中に含まれる六価クロムの溶出を抑制する効果がみられ、強度も増すことなどから高炉スラグを用いている。

これらの効果を、試験片を作成し確認した。

(1) クロム他の元素溶出試験

原料にセメント及び高炉スラグを添加したものと、高炉スラグを添加しなかったものの試験用コア（直径 50㎜、高さ 100㎜）を作成し、塊状のまま、その重量の 10 倍の水溶液に浸漬して 6 時間攪拌する JISK0058-1「スラグ類の化学物質試験方法－第 1 部：溶出量試験方法」に準じて行った溶液中の元素濃度の分析結果を表 2.4 に示す。

分析結果から、クロムについては、高炉ｽﾗｸﾞを添加しないものと比べ、約 20%程度に抑制されていることを確認した。

表 2.4　高炉スラグの元素の溶出抑制結果

項目	pH	F	U	Ra	Pb	As	Cr	Cd
		mg/ℓ	μg/ℓ	Bq/cm^3	Bq/cm^3	μg/ℓ	μg/ℓ	μg/ℓ
ｾﾒﾝﾄ約 17%＋高炉ｽﾗｸﾞ 0%	10.4	<0.1	1.1	4.0E-06	0.43	0.58	10.1	<0.1
ｾﾒﾝﾄ約 17%＋高炉ｽﾗｸﾞ 6%	10.7	<0.1	0.4	5.2E-06	0.31	0.23	1.8	<0.1

(2) 圧縮強度

溶出試験に用いたものと同様の試験用コア（直径 50㎜、高さ 100㎜）を 10 日間水中で養生した後、圧縮強度を測定した結果、表 2.5 に示すように高炉スラグを加えることによって圧縮強度が増すことを確認した。

表 2.5　高炉スラグの圧縮強度への影響

	水中養生 10 日	水中養生 20 日
ｾﾒﾝﾄ約 17%＋高炉ｽﾗｸﾞ 0%	12.7N/㎟	15.3N/㎟
ｾﾒﾝﾄ約 17%＋高炉ｽﾗｸﾞ 6%	24.4N/㎟	29.4N/㎟

2.5　製品の評価

2.5.1　レンガの寸法

Ｄ原料から製造されたレンガ（以下「Ｄレンガ」という。）約 13,000 個の内、50 個について長さ、幅、厚さを測定した結果、長さの最大 211.0 ㎜、最小 207.0 ㎜、幅の最大 103.0 ㎜、最小 99.5 ㎜、厚さの最大 62.0 ㎜、最小 60.0 ㎜であった。この結果は、「普通レンガ」の要求事項である、長さ 210±５㎜、幅 100±３㎜、厚さ 60±2.5 ㎜を、それぞれ満足していることを確認した。

Ａ、Ｂ、C 原料から製造したレンガ（以下「Ａレンガ、Ｂレンガ、Ｃレンガ」という。）の寸法については、「物性確認試験」の中で寸法検査が行われ、JIS 規格Ｒ1250 の「普通レンガ」の寸法に係る要求事項を満足していることが確認された。

2.5.2 レンガの重量

JIS R 1250 の要求事項に、レンガ重量の規格はないが、Dレンガ約 13,000 個の内、寸法測定と同様に 50 個の重量を測定した結果、最大 2.587 kg、最小 2.430 kgであり、密度は最大 2.03、最小 1.91 であった。

Aレンガについては、最大 2.437 kg、最小 2.316 kg、Bレンガについては最大 2.608 kg、最小 2.535 kg、Cレンガについては、最大 2.623 kg、最小 2.502 kgであった。

Aレンガは、他のBレンガ、Cレンガ、Dレンガと比較すると 0.2～0.3 kg軽いが、これは他原料に比べて有機質や粘土分が多く含まれていることが原因と考える。

2.5.3 レンガの圧縮強度

Aレンガ、Bレンガ、Cレンガの圧縮強度の測定は、空気中で自然養生したレンガについて測定を行った。

表 2.6 に示すように、Aレンガでは 20N/㎜ ^{2}以上の強度を有していたがBレンガ、Cレンガについては強度がやや劣るものの 15N/㎜^{2}以上を有しており、JIS 規格の「普通レンガ」２種(15N/㎜^{2}以上)相当の強度を有している。

JIS 規格R1250 の「普通レンガ」の圧縮強度の品質を、表 2.7 に示す。

表 2.6　A、B、Cレンガの圧縮強度の変化

	自然養生 20 日	自然養生約 120 日	備　　考
Aレンガ	22.6 N/㎜^{2}	25.7 N/㎜^{2}	
Bレンガ	18.3 N/㎜^{2}	20.9 N/㎜^{2}	原料の線量率、性状がDレンガ相当
Cレンガ	18.6 N/㎜^{2}	22.4 N/㎜^{2}	
備　　考	原安ｾﾝﾀｰ測定	機構測定	

表 2.7　圧縮強度の品質（JIS 規格R1250）

	２種	３種	４種
圧縮強さ N/㎜^{2}	15.0 以上	20.0 以上	30.0 以上

Dレンガについては、自然養生及びセメントとの水和反応を促進し、レンガの強度を早期に得ることを目的に水中養生を行ったレンガについても測定を行った。

Dレンガの測定結果を表 2.8 に示す。自然養生では 1 週間経過で 16～19N/㎜^{2}であるが、水中養生では 25～23N/㎜^{2}が得られている。４週経過では自然養生と水中養生でそれぞれ 22～27N/㎜^{2}、25～29N/㎜^{2}をそれぞれ有しており大きな相違はなく、JIS 規格の「普通レンガ」３種(20N/㎜^{2}以上)相当の強度を有している。

表 2.8　Ｄレンガの圧縮強度の変化

	自然養生 1 週間	水中養生 1 週間	自然養生 4 週間	水中養生 4 週間	備　考
Ｄレンガ	16.6 N/㎟	25.3 N/㎟	22.4 N/㎟	25.7 N/㎟	（試験場所） 産業技術研究所
	18.9 N/㎟	27.2 N/㎟	26.5 N/㎟	21.9 N/㎟	
	18.0 N/㎟	29.3 N/㎟	24.5 N/㎟	28.5 N/㎟	

2.5.4　レンガの曲げ強度

JIS R 1250 の要求事項に、曲げ強度の規格はないが、Ａレンガ、Ｂレンガ、Ｃレンガの曲げ強度について試験を行った。

試験の結果、Ａレンガ 2.6 N/㎟、Ｂレンガ 2.3 N/㎟、Ｃレンガ 2.7 N/㎟となり、いずれも 3.0 N/㎟以下であったが、歩道用として使用される透水性インターロッキングブロックの曲げ強度の規格は 3.0 N/㎟以上となっているが、施工を確実に実施した上で歩道に用いるには、強度的に破損するような問題はないと思われる。

駐車場に用いる場合は、基礎を確実に施工した上で、使用するなどの工夫が必要である。

2.5.5　レンガの吸水率

Ａレンガ、Ｂレンガ、Ｃレンガの吸水率を、(財)原子力安全技術センターで測定した結果、Ａレンガ 15.9%、Ｂレンガ 11.6%、Ｃレンガ 10.6%であった。

JIS R 1250 の要求事項の吸水率は、２種 15%以下、３種 13%以下、４種 10%以下とされている。

2.6　試運転から出た課題

試運転により、以下の課題が抽出された。

これらの課題については、安定生産確認運転の段階で、それぞれ改善を行った。

(1)　３㎜以下に粉砕した原料により試運転を開始したが、ピアノ線による切断面が粗くバリも発生し、外観上あまり見栄えが良くないことから、ロールクラッシャーの間隙を 2.5 ㎜に狭めて粒径を 2.5 ㎜以下にして試運転を継続した。それにより多少は切断面の見栄えは良くなったが充分ではなく、粉砕粒径を更に小さくし（２㎜以下程度)、ピアノ線を更に細くするなどの改良を検討する必要があった。

(2)　不良品レンガを粉砕し再利用する試験を行ったが、粉砕作業はレンガ製造工程とは別に独立して行わなければならないし、粉砕したレンガを返す工程は、成形加工直前の混水混練工程からとなっており、作業効率が悪いことから、不良品レンガは、原料(掘削土)と共に投入できるべく検討する必要があった。

原料と不良品レンガが反応して固化するおそれが考えられたが、原料にレンガを混ぜてから短時間で製品にする場合には問題のない見通しが得られていることから、レンガ製造時に試験してみる必要があった。

(3)　原料の性状(粘土分の多少、有機酸の多少など)によって加水量の調整が必要である。しかし、加水量は原料の性状に応じて運転員の「勘」に頼らざるを得ないことから、熟練者

を育てる必要があった。

(4)　切断機から養生棚に送られる途中で不良品レンガ(外観)を取り除き、工程に戻す作業が必要であることから、作業位置と作業性の検討をする必要があった。

3．安定生産確認運転

3.1　はじめに

試運転で製造したレンガの物性確認試験が（財）原子力安全技術センターにより実施され、平成 20 年 9 月に「レンガ製品の物性確認試験報告書」として評価結果が出された。

評価結果は、「掘削土を原料とし、加工場で製造されるレンガ製品について一般に使用するにあたり、放射線上及び性能上において、特に留意すべきことがないと判断できる。」との評価であった。

平成 20 年 10 月～平成 20 年 12 月にかけて加工場においてレンガを安定して生産できることを確認すると共にレンガ製品の外観等をさらに向上させることを目的に安定生産確認運転を実施した。

安定生産確認運転では、加工場の運転・保守作業に係わるコンサルティング契約を結んだ㈱ペスコにより、レンガ製造技術及び製造設備の運転並びに技術的課題に対する対応を検討し、運転員に対しその指導が行われた。

3.2　実施体制

加工場の安定生産確認運転は、運転・保守作業に係わるコンサルティング契約を受注した㈱ペスコを実施責任者として、ペスコ㈱の下請業者である亀井製陶㈱、高浜工業㈱の技術者によって、人形峠原子力産業㈱の運転員 9 名に対し技術指導等が実施された。

㈱ペスコが安定生産確認運転の工程管理、取りまとめを行い、亀井製陶㈱がレンガ製造に係る運転教育と技術指導、高浜工業㈱がレンガ製造設備機器の機械、電気に係る技術指導を担当した。

3.3　安定生産確認運転における技術指導

3.3.1　技術指導の内容

安定生産確認運転における技術指導では、レンガの製造方法、製造設備に係わる基本的事項、作業手順の習得及び安全衛生教育に関する事前教育と、レンガ製造設備を用いたレンガ製造運転実務指導が行われた。

レンガ製造運転実務指導に先立って行われた、事前教育指導では、運転マニュアル、機器構造図、機器取扱説明書及び電気取扱説明書（制御盤操作説明）等の資料を用い、レンガ製造方法、製造設備に係わる基本的事項及び作業手順の教育のほか、労働安全衛生規則第 35 条に基づく、機械等の取扱い方法、安全装置の取扱い方法及びレンガ製造に係わる運転方法等についての安全教育が行われた。

また、レンガ製造運転実務指導においては、レンガ製造設備を用いてレンガ製造を行い、その実務について OJT による指導が行われ、レンガ製造時に発生したトラブル等については、そのトラブルの対処方法について指導が行われた。

表 3.1 に、事前教育指導の概要を示し、表 3.2 に、 レンガ製造運転実務指導の概要を示す。

表 3.1 事前教育指導の概要

指導項目		指導内容
事前教育指導	製造方法及び設備の基本事項	・レンガ製造方法の特徴と製造の流れ ・製造に係わる留意事項 ・製造設備の構成と概要 ・安全装置及び安全に対する留意事項
	運転の手順	・レンガ製造に係わる作業手順 ・作業時の運転前点検事項 ・製造設備の操作手順（空運転による操作）
	電気設備に関する指導	・電気制御に係わる基本事項 ・制御盤の操作方法、各種設定方法（空運転による操作） ・トラブル発生時の対応 ・点検、調整方法
	機械設備に関する指導	・機械の構造 ・機械の取扱い、調整方法 ・トラブル発生時の対応、安全装置の取扱い ・安全運転に対する留意事項 ・点検、調整方法
	工具類の使用法及び整理	・工具類の使用方法 ・工具類の整理（配置の検討）
	点検及びメンテナンス	・機械類の点検方法 ・メンテナンスに係わる事項

表 3.2 レンガ製造運転実務指導の概要

指導項目		指導内容
レンガ製造運転実務指導	品質(外観)向上確認試験	品質(外観)向上のための対策によるレンガ製造を行い、その効果の確認･評価 ※少量バッチのレンガ製造となるため、0JT による運転実務指導を兼ねて実施された
	連続運転による運転実務指導	連続運転によりレンガ製造運転実務を繰り返し指導 ※事前教育指導の内容を含めて 0JT による指導 ※本格操業(安定生産)時を模した操業体制にて連続運転によるレンガ製造を行い、操業状態や作業員の配置を確認 (主な指導項目) ・原土搬入及び原料取出し(解体･除根)方法 ・原料調整工程の運転前準備及び確認事項 ・原料調整工程の運転方法 ・混練･成形工程の運転前準備及び確認事項 ・混練･成形工程の運転方法 ・混練･成形工程運転終了後の混水混練機および真空押出機の掃除（解体･組付け）方法 ・レンガの選別･梱包方法 ・副原料（セメント、高炉スラグ）のサイロへの受入方法 ・硬化剤・遅延剤の調整方法及び各供給装置への投入方法 ・ロールクラッシャーの間隙調整方法 ・スクリーンフィーダーのスクリーン交換方法及び清掃方法 ・回転式篩機の金網の交換方法 ・不良品レンガの粉砕方法 ・レンガ製造中における運転機器等のトラブル時の対応方法

3.3.2 技術指導スケジュール

加工場における運転員への技術指導は、平成 20 年 10 月 14 日から 12 月 12 日の９週間、計 42 日間の実日数で実施した。

第１週～第２週（10 月 14 日～10 月 24 日）

事前教育指導として、製造方法及び設備の基本事項、運転の手順、機械設備に関する指導（機器の構造、取扱い及び調整方法並びに安全装置の取扱い等の概要）、工具類の使用方法についての講義及び実機による操作指導（空運転による機械操作）及び電気設備に関する指導を行った。

第３週（10 月 27 日～10 月 31 日）

品質(外観)向上改善確認試験を実施した。品質(外観)向上改善確認試験では、１日に数バッチ（１バッチは、加工場２階で原料の粉砕、高炉スラグの添加、スクリーンフィーダーによる一次混練の処理を終えた原料 1,150kg の調整原料）のレンガ製造を行い、製造されたレンガにより品質(外観)向上改善策の効果を評価した。この期間の機械操作は、運転員の OJT を兼ねて実施し、原料調整から混練成形（レンガ製造）、機器掃除・組付け、レンガ選別・梱包に至るレンガ生産に係わる一連の工程を実機により体験した。

第４週（11 月 4 日～11 月 7 日）

翌週からのレンガ製造運転実務指導に備え、原料保管場からの原料取出し、原料の加工場への搬入、解体・除根、原料調整工程の運転、混練成形工程の運転準備等の作業を行った。

第５週～第７週（11 月 10 日～11 月 28 日）

レンガ製造運転実務指導により、連続運転によるレンガ製造を繰り返し行い、レンガ製造技術の習得に努めた。

第５週にはレンガ製造１回（約 7,500 個のレンガを製造）

第６週にはレンガ製造２回（約 12,700 個製造）

第７週にはレンガ製造１回（約 9,700 個製造）

を行い、機械の構造、取扱い及び調整方法の詳細、安全運転に対する留意事項、点検及びメンテナンス等の指導を行った。

第８週～第９週（12 月 1 日～12 月 12 日）

技術指導の最終段階として、第８週には、原料調整工程及び混練・成形工程の隔日運転を連続して行い、１週間で２回のレンガ製造により大型土のう袋 35 袋を処理することを計画したが、副原料（高炉スラグ）の残量が少なくなり、不足することが考えられたことから、高炉スラグの購入のため、1 回/週でレンガの製造を行った。

この期間に、第８週に大型土のう袋 17 袋、第９週には 18 袋を処理し、各々10,200 個、11,500 個のレンガを製造した。また、不良レンガ等の粉砕処理及び混練・成形工程への再生原料投入についても実践指導を行った。

3.3.3 作業実績

(1) レンガ製造実績

安定生産確認運転における技術指導の期間中において、大型土のう袋 93 袋（約 116 t）の原料を原料保管場より取り出し、53,280 個のレンガを製造し、その内、3,122 個の不良品レンガが発生した。期間中におけるレンガ製造の実績を表 3.3 に示す。

表 3.3 レンガ製造実務運転指導におけるレンガ製造実績

月 日	土のう取出し	原土重量 (kg)	原料処理量 (kg)	調整原料処理量 (kg)	副原料使用量			レンガ製造個数 (個)
					ｾﾒﾝﾄ (kg)	高炉ｽﾗｸﾞ (kg)	顔料 (kg)	
10/10	15 袋	17,715.0						
	13 袋	14,420.4						
10/28			6,524.0			385.4		
10/28				1,150.0	110		3.3	(156)
10/29				3,640.0	765		12.9	1,648
11/ 4	15 袋	20,703.0						
	15 袋	18,896.0						
11/ 5			15,466.3			951.2		
11/11				14,831.0	2650.3		73.1	7,540
11/18			32,565.0			2,050.0		
11/19			2,214.4			139.4		
11/19				11,950.0	1707.9		51.1	5,698
11/20				16,020.0	2830.7		84.4	6,998
11/25			19,148.2			1,205.4		
11/26	17 袋	22,430.6						
	18 袋	22,026.4						
11/27				21,620.0	3572.0		105.2	9,729
12/ 1			23,446.8			1,467.8		
12/ 2				22,140.0	3775.1		108.0	10,180
12/ 9			20,932.8			1,282.7		
12/10				25,360.0	4,180.3		124.5	11,487
計	93 袋	116,191.4	120,297.5	116,711.0	19,591.3	7,481.9	562.5	53,280

※ 原土重量は風袋（大型土のう袋の重量：4.2kg）を除いた重量（実測値）
※ 10/10 の土のう袋取出しは計 33 袋であったが、このうち 5 袋は 11/26 取出しの 18 袋に含めている。
※ 調整原料処理量、セメント及び顔料の使用量は、レンガ製造設備に設置されている重量測定器による測定値。原料処理量及び高炉スラグ使用量は、供給機の設定切出量と稼働時間の積算値
※ 10/28 のレンガ製造は、セメント供給機不調によりセメントの供給が設定量入っていなかったため、全量をリサイクル品とした。このため、表 3.3 の 10/28 のレンガ製造個数（156）については、製造個数の合計には含めていない。

(2) レンガ製造に係わる各種作業時間の実績

レンガ製造運転実務指導期間中に行ったレンガ製造によって、レンガ製造に係わる各種の作業に要する時間が確認された。各作業時間の実績を以下に示す。

なお、安定生産確認運転のレンガ製造は運転実務指導を目的としているため、作業工程が本格運転の形態よりも緩やかに設定され、各作業を多めの人員で実施していることから、本格運転時に勤務時間内に作業が終了することが可能であるのかどうか確認することにした。

1) 原料保管場からの原料の取り出し

原料保管場からラフタークレーンによる原料の入った大型土のう袋の取り出し作業では、取り出す原料の位置により作業時間が大きく変動した。

原料保管場は、雨水等の浸入防止等のために遮水シートで覆い、遮水シートは、シートの飛散防止対策として単管組みにて押さえられている。遮水シートの下には、原料の入った大型土のう袋2460袋を積み重ねて保管しており、安定化のために間詰土が大型土のう袋の上部、隙間に充填され、大型土のう袋はビニールシートで覆い、大型土のう階段積み部分は、地震時に荷崩れが起きないよう大型土のう袋２袋をネットで固縛している。

原料を取り出すには、単管及び遮水シート等を取り除く必要があり、特に、間詰土の除去には時間を要し、最上段付近から取り出す場合には比較的短時間で済んだが、下段では上段で除去出来なかった未処置の間詰土が堆積していた。

作業員９名（加工場側４名、原料保管場５名）での作業時間は次のとおりで、下段からの原料の取り出し作業は、最上段付近と比べて倍近くの時間を要した。

最上段付近：30袋＝2.5時間（9時～11時30分）
下段　　：33袋＝５時間　(9時～15時(昼休み1時間))

本格運転では、効率よく作業を進めるため、間詰土の除去方法について検討を行った。人手による除去方法では作業効率を向上させる良い方法が見いだせなかったことから、バキュームカーを用いて間詰土を吸引除去する方法を本格運転開始前までに確認することにした。

本格運転開始前にバキュームカーを用いた間詰土の吸引除去は効率良く行われ、作業上問題のないことを確認した。

1作業日当たりにおける原料の取り出し数も90袋は十分に可能であることを確認し、２回/月の頻度で原料を取り出すことで、１ヶ月あたりに必要とする原料を確保できることを確認した。

2) 原料の前処理（解体・異物除去）

原料保管場から取り出した原料の前処理作業(大型土のう袋の解体･竹木根等の異物除去)では、原料の性状、特に竹木根等の混入の程度により作業時間に大きな差が生じた。

原料の前処理作業を７～８名の運転員で行った場合、概ね1時間当たり大型土のう袋、2袋の処理が可能であった。しかし、竹木根等の異物の混入が著しいものでは、1袋の処理に40分程度の時間を要した。

レンガ製造１日分の原料となる大型土のう袋14袋～18袋の前処理作業では、竹木根等の

異物の混入が少ないものでも約８時間が必要であった。異物の混入程度については原料を取り出してみないと分からない状況ではあるが、試運転及び今回の運転を通し、異物の混入の著しいものがかならず含まれており、レンガ製造１日分にあたる原料の前処理作業に必要とする作業時間は、休憩時間も含めて考慮すると、1.5 日（作業日１日と翌日午前中まで）が必要となる。

この作業を運転員がレンガ製造運転と併行して行う場合、「原料の前処理(解体・異物除去)－原料調整工程運転－混練・成形工程運転」に 少なくとも３日間を要するため、週に２回以上のレンガ製造を確保することができなくなることから、原料の前処理については、運転員とは別の作業員で実施することで検討することにした。

なお、平成 21 年７月中旬から開始した本格運転では、原料の前処理作業を運転員が実施するのではなく、原料の前処理作業だけを専門に実施する作業員を受け入れて実施した。

3）原料調整工程

レンガ製造設備の設計では、原料調整工程の処理量を８ｔ/h に設定し、原料・副原料の供給量やコンベア類の速度の設定が行われている。

安定生産確認運転では、原料調整工程の運転を７回行い、運転中におけるライン停止を伴うトラブルとして、石抜機の掻き羽根への岩石の咬み込み、ロールクラッシャーでの原料詰まりなどが生じた。

石抜機の岩石咬み込みトラブルは、制御盤の操作で機器を単体で作動させることにより５～10 分程度で回復することが可能であった。ロールクラッシャーで大量の原料詰まりが生じた場合は、機械上からスコップなどで原料を取り除く作業となるため、約１時間の時間を必要とした。

こうした運転中の機器トラブルにおけるライン停止の処理実績を表 3.4 に示す。作業日ごとの時間当たりの処理量にはばらつきがあるが、原料調整工程の処理能力は５ｔ/h 程度と見込み、１製造日分の原料(約 20ｔ)を処理するためには約５時間の運転時間が必要となる。

なお、これらのトラブルを無くすには、原料の前処理作業である岩石の選別及びスーパークラッシャーでの岩石の粉砕を丁寧に実施することで、石抜機の岩石の咬み込み及びロールクラッシャーの原料詰まりが無くなることから、本格運転時には、岩石の選別及び岩石の粉砕をより丁寧に実施することにした。

表 3.4　原料調整工程の処理実績

日 付	原料調整工程 稼働時間	原料処理量 (kg)	時間当たり処理量 (kg/h)
10/28	1 時間	6,524.0	6,524.0
11/ 5	2 時間 50 分	15,466.3	5,458.6
11/18	6 時間 30 分	32,565.0	5,010.0
11/19	17 分	2,214.4	7,815.5
11/25	4 時間 30 分	19,148.2	4,255.2
12/ 1	6 時間	23,446.8	3,907.8
12/ 9	4 時間	20,932.8	5,233.2
平均値	－	－	5,457.8

4) 混練・成形工程

混練・成形工程は、１バッチ 1,150kg の調整原料を 19.5 分のサイクルで混練工程にて循環混練した後、順次 成形工程へ送り出してレンガ成形を行う設計となっている。

安定生産確認運転では、混練工程においてライン停止を伴うトラブルはほとんど発生しておらず、19.5 分のバッチサイクルで処理が行われた。一方、成形工程では、切断機から積込機への動作において、養生パレットの搬送が停止することがあったので、養生パレットの位置を識別する光電スイッチの位置及び積込機のローラー位置の調整を行い、問題を解決した。

安定生産確認運転では、混練・成形工程の運転を計８回行っており、作業日ごとの稼働時間と調整原料処理量から混練・成形工程の時間当たりの処理実績を表 3.5 に示す。運転期間中の混練・成形工程の時間当たり処理量の平均値は 2,160.7kg/h となるが、前半は品質(外観)向上確認試験及び製造技術やトラブル対応の指導を行いながらの運転であったため、時間当たりの処理量は少なくなっている。運転作業員が機械操作やトラブル対応に習熟した 12 月の連続運転における処理量は 3,073.2kg/h であったことから、混練・成形工程の処理能力は約３ｔ/h であることを確認した。

表 3.5　混練・成形工程の処理実績

日 付	混練･成形工程 稼働時間	調整原料処理量 (kg)	時間当たり処理量 (kg/h)
10/28	3 時間 30 分	1,150.0	328.6
10/29	2 時間 50 分	3,640.0	1,284.7
11/11	6 時間	14,831.0	2,471.8
11/19	7 時間	11,950.0	1,707.1
11/20	6 時間 30 分	16,020.0	2,464.6
11/27	7 時間 30 分	21,620.0	2,882.7
12/ 2	7 時間	22,140.0	3,162.9
12/10	8 時間 30 分	25,360.0	2,983.5
平均値			2,160.7

本格運転時の 1 日の作業工程を検討するにあたり、混練･成形工程では混練の終了から その原料がレンガに成形されるまでに時間を要するため、作業終了のタイミングを適切に見極める必要があり、運転中にその時間を確認した。

最終バッチの調整原料が混水混練機に投入されてからレンガの成形が終了するまでの時間は、供給機（配合原料）の残原料にもよるが、1 時間～1 時間 20 分であった。したがって、作業終了後の機器清掃の時間を 30 分として、午後５時にすべての作業を終了するためには、最終バッチを午後３時 30 分までにスタートしなければならないことを確認した。

今回の運転実績から、混練工程は 19.5 分サイクルで運転ができており、１時間に３バッチの混練処理が可能であり、午前８時 40 分に作業を開始し、最終バッチを午後３時 30 分までにスタートすることにより、１日の処理量 21 バッチ（調整原料 24,150kg）を実施することが可能であることを確認した。

5) レンガ選別・梱包作業

レンガ選別・梱包作業については、養生台車上のレンガを掴み取るエアバランサーの操作に１名、養生台車側のセッター（レンガ養生パレット）操作に１名、梱包パレット側にはレンガ選別・整列に１名、及びフォークリフトの運転に（養生台車、梱包パレットの移動、梱包作業） １名の計４名の作業員が最低必要である。

この体制により作業を行った結果、養生台車１台（ﾚﾝｶﾞ 512 個）の処理に 20～25 分が必要であった。上記のように、本格運転時には１日に 21 バッチ、養生台車 22 台分（約１万個）のレンガが製造されるが、1 製造日分のレンガを選別・梱包するには 1 日の作業時間内に作業を終了することが困難となることから、レンガ選別作業の効率を向上するために、レンガ製造中に成形不良品を見極めて工程に戻し、不良品の発生を抑えることにした。

3.4 品質(外観)向上改善確認試験

安定生産確認運転のなかで、製品レンガの品質(外観)をより向上させることを目的として、以下に示す品質向上改善策について、その効果を確認するためのレンガ製造試験を実施した。

①原料粉砕粒度の細粒化

原料調整工程に原料を２回通し、粉砕粒度を 2㎜ 以下（試運転 2.5 ㎜ 以下）とする。

②レンガ定寸切断ピアノ線の細線化

レンガを定寸切断するピアノ線の一部を線径 0.8 ㎜（現行 1.0 ㎜）とする。

③レンガ切断面のバリ押え冶具の設置

レンガ切断ピアノ線 0.8㎜ の一部にバリ押え冶具(ステンレス製の薄板)を設置。

図 3.1 にレンガ切断ピアノ線及びバリ押え治具を示す。

図 3.1 レンガ切断ピアノ線とバリ押え治具

④原料調整工程への除根冶具の設置

原料調整工程のコンベア上に除根治具(熊手状冶具)を設置。図 3.2 に除根治具を示す。

図 3.2　除根治具

⑤再生原料の処理方法の改善

原料調整工程においてレンガ不良品と原料とを混ぜて粉砕処理を行い、レンガ製造を行う。

3.4.1　実施方法及び手順

(1)実施方法

1) 原料粉砕粒度の細粒化

原料の粉砕粒度によるレンガ切断面のバリ及び肌合の改善を評価するため、　ロールクラッシャーのロール間隙を 2.0㎜(試運転 2.5㎜)として原料調整(粉砕)を行い、レンガ製造を行う。

現行の原料調整工程の機器構成において、ロールクラッシャー間隙を 2.0㎜ として原料調整を行った場合、ロールクラッシャーの負荷が大きくなり、異常振動を引き起こすことが先の試運転時に確認されていることから、ロール間隙を 5.0㎜ として一次粉砕した後、ロール間隙を 2.0㎜ に調整して再度粉砕処理を行う。すなわち、原料調整工程を２回通して粉砕する。

2) レンガ切断ピアノ線の細線化

レンガを定寸切断するピアノ線の太さによるレンガ切断面のバリ及び肌合の改善を評価するため、ピアノ線径を 1.0㎜ から 0.8㎜ に細くしてレンガの切断を行う。

レンガ切断機は 1 動作で 24 個のレンガに定寸切断し、8 個ずつを搬送パレット上に移載する。1 枚の搬送パレットに載る 8 個分のピアノ線を 0.8㎜ のものに交換し、1.0㎜ で切断したレンガと切断面を比較評価する。

3) レンガ切断面のバリ押え冶具の設置

レンガの切断時に生じるバリを押えるため、定寸切断するピアノ線にバリを押えるための冶具(ステンレス製の薄板(0.1㎜))を取り付けてレンガの切断を行い、その効果を評価する。

上記②のピアノ線の細線化において交換するピアノ線(0.8㎜)の一部にバリ押え冶具を取り付け、冶具のない部分とのレンガ切断面を比較評価する。

4) 原料調整工程への除根治具の設置

原料中に混入している竹木根等の異物を、原料調整工程のコンベア上で取り除くために製作した除根治具を設置し、運転時にその効果を確認する。

5) 再生原料の処理方法の改善

レンガの不良品などはスーパークラッシャーで粉砕した後、再生原料として混練・成形工程において少量ずつ添加して処理することとしていたが、このとき、粒径 2㎜ 以下のものについては再生原料として利用できるが、それ以上の大きさの粒径についてはレンガ切断面の外観に係わる品質が低下することから再生原料として利用できない。再生原料として利用できない粒径のものを効率的に処理するために、原料調整工程において原料と混ぜ合わせた上で粉砕処理し、レンガ製造が可能か否かを確認する。

(2) 実施手順

品質(外観)向上のための改善の確認運転は、上記 1)～3)と 5)に分けて実施した。

図 3.4 および図 3.5 に実施手順のフロー図を示す。

1) 原料粉砕粒度の細粒化～レンガ切断面のバリ押え治具の設置 の確認運転手順

・大型土のう約 15 袋の原料をロールクラッシャーのロール間隙を 5.0㎜ として原料調整工程にて一次粉砕する。このとき、高炉スラグの添加、スクリーンフィーダーの加水は行わない。

・調整原料置場に溜まった一次粉砕原料は、2 回目の処理に備えて、原料置場(2)へ移動する。また、下記②の再生原料処理方法改善の確認運転のため、約 1ｔを取り分けておく。図 3.3 の加工場 2 階 機器配置図を参照。

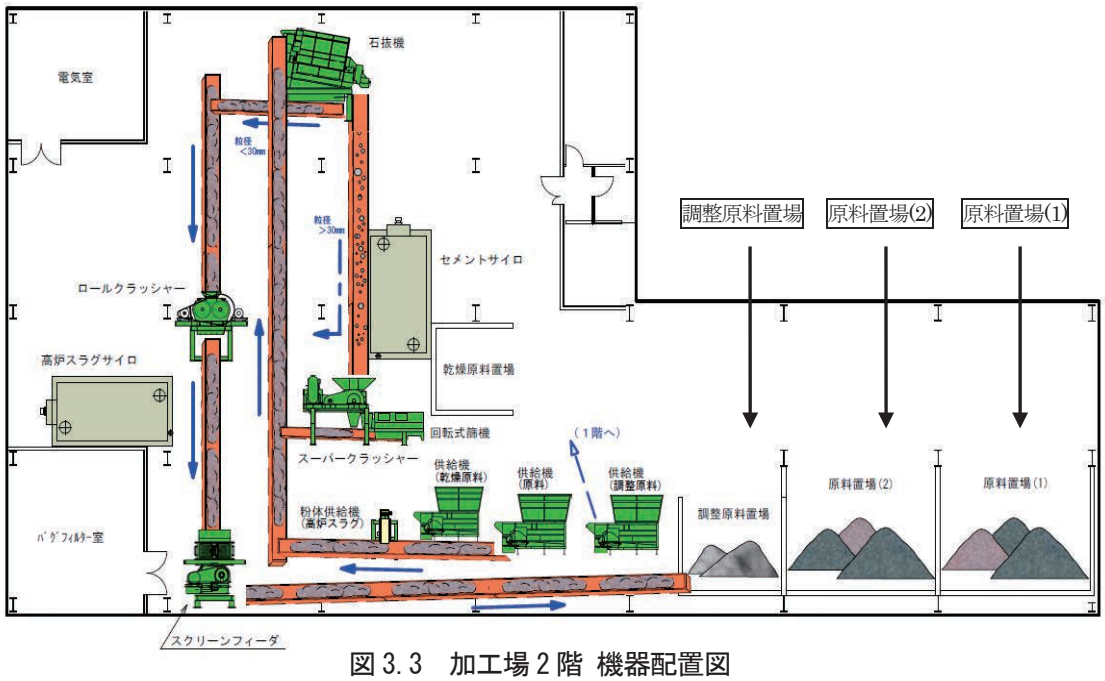


図 3.3　加工場 2 階 機器配置図

・ロールクラッシャーのロール間隙を 2.0 ㎜ に調整した後、一次粉砕した原料を再度原料調整工程にて粉砕処理を行う。このとき、高炉スラグの添加、スクリーンフィーダーからの加

水を行う。

・原料調整工程を２回通した調整原料は、通常の運転工程と同様、一晩調整原料置場に保管する。

・翌日、切断機のピアノ線交換及びバリ押え冶具を設置した後、通常の運転工程と同様に混練成形を行い、レンガを製造する。

2）再生原料処理方法改善の確認運転手順

再生原料の処理方法の改善については、上記のロールクラッシャーのロール間隙 5.0 ㎜にて一次粉砕した原料を約 1.0ｔ取り分けておき、別の日に実施する。

・一次粉砕原料約 1.0ｔに対して、再生原料を５％加えて十分に混合する。

・ロールクラッシャーのロール間隙を 2.0 ㎜ に設定した原料調整工程に投入し、原料を 2㎜以下に細粉砕する。

・細粉砕された原料を、同日のうちに混練・成形工程に投入してレンガ製造を行う。また、一部を翌日まで保管して硬化の程度を確認し、レンガ製造が可能であるか亀井製陶㈱の技術者による判断を行った。

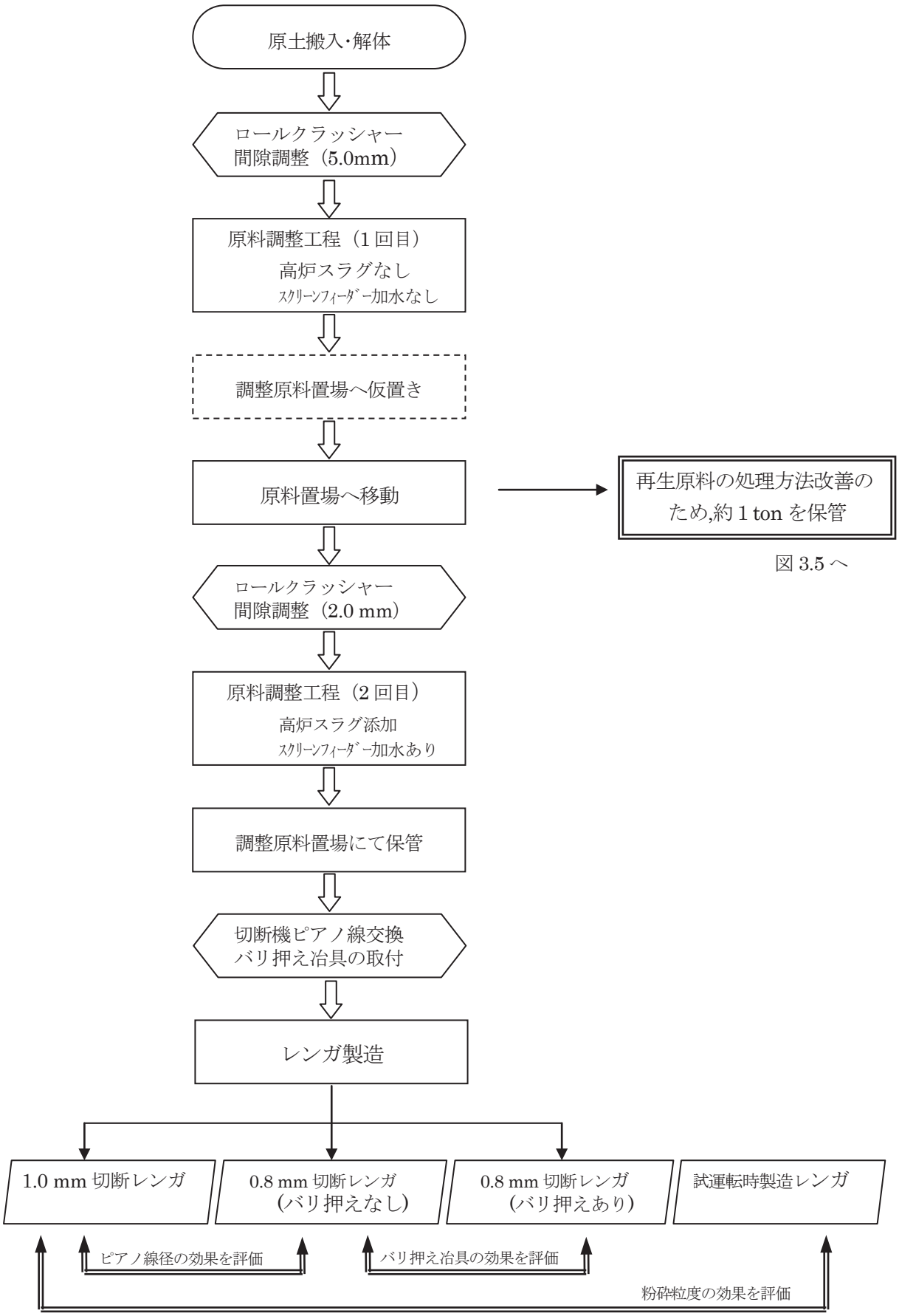


図 3.4　原料粉砕粒度の細粒化～レンガ切断面のバリ押え治具設置 の確認運転手順

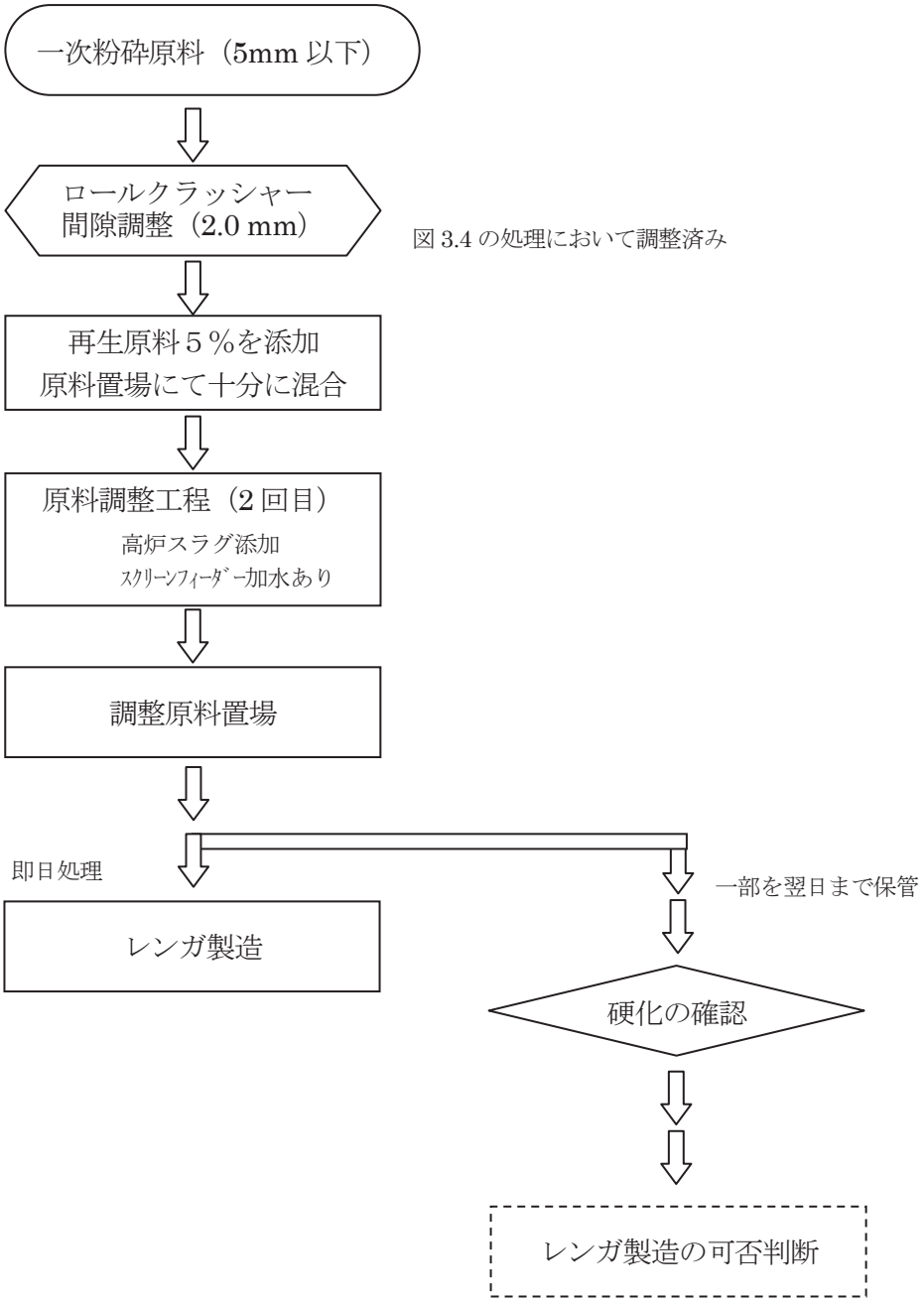


図 3.5　再生原料処理方法改善 の確認運転手順

3.4.2　品質(外観)向上改善確認試験の結果

品質(外観)向上改善確認試験では、ロールクラッシャーのロール間隙を 2.0 ㎜にして、2㎜以下に粉砕した調整原料 約６ｔを用い、0.8 ㎜ ピアノ線で切断したレンガ 約 530 個、 1.0 ㎜ ピアノ線で切断したレンガ 約 1,120 個を製造した。

確認試験において実施した品質向上改善策の結果を以下に示す。

(1) 原料粉砕粒度の細粒化

・原料の粒度を 2㎜以下に粉砕することは、ロールクラッシャーのロール間隙を 5.0㎜調整して一次粉砕し、再度ロール間隙を 2.0㎜に調整して二次粉砕する（原料調整工程に２回通す）ことにより可能であった。

・粉砕時間（機器トラブルによるライン停止時間含む）

原料 約 18ｔを 5㎜以下に粉砕　　3.5 時間（5.1ton/ｈ）

約 ８ｔを 2㎜以下に粉砕　　1.5 時間（5.3ton/ｈ）

・ロール間隙の調整時間　　約 40 分/回

・粉砕粒度 2㎜以下で製造したレンガと 2.5㎜以下で製造したレンガ（平成 20 年４月～５月の試運転時）を図 3.6 に示す。

図 3.6　レンガ切断表面の比較（粉砕粒度 2㎜以下と 2.5㎜以下）

・レンガ表面の石粒が小さくなり、一見すると滑らかな印象を受けたが、ピアノ線切断によるレンガ切断面の表面状態に大きな差は認められなかった。

(2) レンガ定寸切断ピアノ線の細線化

・ピアノ線径を 0.8㎜に細くしてもピアノ線が切れるなどのトラブルはなく、レンガ製造

は可能であった。

・0.8㎜ピアノ線と1.0㎜ピアノ線で切断したレンガを図3.7に示す。
線径0.8㎜と線径1.0㎜ピアノ線で切断したレンガ切断面は、品質(外観)には大きな差は認められなかった。

図3.7　レンガ切断表面の比較（ピアノ線径0.8㎜と1.0㎜）

(3) レンガ切断面のバリ押え治具の設置

・バリ押え治具は厚さ 0.1㎜ のステンレス薄板を 0.8㎜ のピアノ線に取り付け、全体で1.0㎜ の径としたが、取り付けたバリ押え治具の多くは、レンガの押出し圧力に耐え切れず破損した。

・バリ押え治具を取り付けて切断したレンガを図3.8に示す。

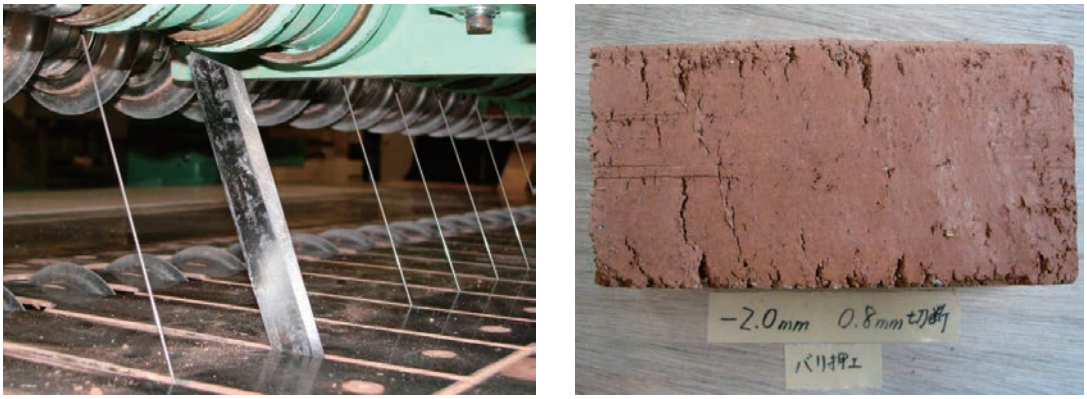


図3.8　バリ押え治具(左)とレンガ切断表面(右)

(4) 原料調整工程への除根治具の設置

・除根治具は、石抜機後方のコンベアに目の粗い櫛状治具と磁石（ネオジム）及びロールクラッシャー後方のコンベアに目の細かい櫛状治具を設置して運転を行った。図 3.9 に除根治具と運転状況を示す。

図 3.9　除根治具（左）と運転状況（右）

・石抜機後方のコンベアの除根治具は目が粗く、竹木根等は櫛の間をすり抜けてしまう。ロールクラッシャー後方のコンベアの除根治具は逆に目が細かすぎ、原料が粘性を持っているため、除根治具の隙間につまり、コンベア上に溢れてしまう結果となった。

・石抜機後方のコンベア上に取り付けた磁石（ネオジム）には原料中に混在する釘などの異物が付着することを確認した。

(5) 再生原料の確認

・５％の再生原料（不良レンガ等の粉砕物）を原料に混合し、その日のうちにレンガ製造を行った。不良品レンガの粉砕物が入ることにより通常の原料よりも粘性が低くなるため、混練時の水分調整に苦慮するが、レンガの製造自体は可能であった。

・少量を翌日まで放置して硬化状態を見たが、表面は水分が抜けて硬くなるものの内部は粘性を有しており、レンガ製造は可能であると判断された。

3.4.3　品質（外観）向上改善確認試験結果の評価

3. 4.2 の品質（外観）向上改善確認試験の結果から、実施した改善策について次のように評価した。

・原料粉砕粒度の細粒化は、ロールクラッシャーのロール間隙を調整して原料調整工程を 2 回通すことにより可能ではあるが、この工程の実質的な処理能力が約５ t /h であることから、１稼動日あたりの計画処理量を 1 日で処理することは不可能である。この場合、原料調整工程と混練・成形工程の隔日運転により週 2 回のレンガ製造を行うことが困難となる。

・また、レンガ表面の品質(外観)は、粉砕粒度の細粒化によって切断面の外観上には大きな違いは認められなかったことから、原料調整工程を2回通すことによる作業の煩雑さを考慮すれば、ロールクラッシャーのロール間隙を極力狭くして１回の粉砕処理で運転する方法が効率的である。
・レンガを切断するピアノ線径の細線化については、線径 0.8㎜ と 1.0㎜ で切断面における外観上に大きな違いは認められなかった。また、細線化による運転中におけるピアノ線の切断するリスクを考慮すれば、1.0㎜ のピアノ線を使用することが望ましい。
・バリ押え冶具はピアノ線にかぶせる方法では強度不足で使用できない。他の方法により対応できたとしても、レンガ表面は図 3.8 のように滑らかな面になると考えられる。このような滑らかな表面のレンガは雨水により滑りやすくなるため、歩道に利用するには問題となる。
・コンベア上の除根冶具は現状ではそのままで竹木根等を取り除くことはできない。コンベアから原料が溢れない程度に櫛の間隔を 2～3㎝ 程度に調整し、堰き止められる原料の中から人手により除根を行うことが現段階では最良の方法と考えられる。
・原土の中には、少量ながら金属製の異物が含まれている。これらの異物は、大きなものが工程中に入った場合、機械の故障等を引き起こす恐れがある。コンベア上に取り付けた磁石（ネオジム）は、これらの異物を除去するのに有効である。

４．本格運転

4.1　はじめに

加工場においてレンガ製造運転を連続して実施するには、製造されたレンガを滞りなく加工場から搬出していく必要がある。加工場に保管できるレンガは建家内１階で約５万個、建家１階外回りで約３万個の約８万個であり、本格運転が計画された平成 21 年４月時点においては、試運転及び安定生産確認運転により製造された約７万個のレンガが保管されていた。

レンガの一般頒布及び機構拠点内において構内整備等に使用することでレンガの搬出が行われ、平成 21 年７月から本格運転を開始し、方面掘削土を全てレンガに加工し、約 145 万個の製品レンガを製造して平成 22 年 12 月 13 日に運転を終了した。

平成 23 年６月 30 日には、加工場に保管していた最後のレンガ 117 個が一般頒布により搬出され、「方面ウラン残土の措置に関する協定書」で約束したことについて履行することができた。

レンガ加工場の建家解体及び跡地整備工事は、平成 24 年６月 25 日に竣工し、鳥取県から借地した用地を平成 24 年６月 30 日に返還した。

なお、月刊エネルギーレビュー2010 年８月号で、「順調に進む人形峠製レンガの加工と使用」と題して、レンガの安全性や運転状況等を掲載している。

4.2　運転概要

4.2.1　平成 21 年度の運転体制と状況

平成 21 年４月から、加工場のレンガ製造本格運転に向け運転員９名（人形峠原子力産業㈱）を配置し、運転が開始出来るよう準備を進めた。

レンガの搬出は、国や関係自治体等との調整により、レンガの一般頒布が５月中旬から開始され、拠点の構内整備の計画も整い、加工場に保管していたレンガが搬出されたことで、７月中旬より本格運転を開始した。

本格運転では、運転員による原料の前処理作業（解体、竹木根等の異物除去）を止め、原料の前処理作業は、前処理作業を専門に実施する作業員６名によって実施し、運転日を多く確保することにした。

７月中旬から開始された本格運転は、12 月末まで順調に進み、約 55 万個のレンガを製造した。1 月～3 月は、積雪や寒冷のために運転をしない計画であったが、平成 22 年 3 月 10 日からレンガの製造運転を再開し、3 月末迄に約 6 万個のレンガを製造した。平成 21 年度に製造したレンガの総数は、約 61 万個となった。

また、22 年度中にレンガの製造を終了するために、別添-3 に示す平成 22 年度のレンガ加工場の人員配置・製造サイクルについて検討を行った。

4.2.2　平成 22 年度の運転体制と状況

平成 22 年度中に全ての原料を処理しレンガの製造を終了させるために、平成 22 年度は、別添-2 に示したように運転員 11 名により祝日及び土曜日も運転する計画とした。

レンガ製造日における運転員は９名であるが、運転員 11 名を確保することで、週休２日の取れる運転シフトとした。

原料の前処理作業は、前年度同様に、作業員６名によりレンガ製造運転計画に合わせ作業

を実施した。

平成 22 年度の運転は、4 月 1 日からレンガ製造を開始し、12 月 13 日に全ての原料をレンガに加工して運転を終了した。

平成 22 年度に製造したレンガの総数は約 78 万個で、試運転から本格運転までの期間に製造したレンガの総数は約 145 万個となり、拠点に約 52 万個、一般頒布に約 93 万個が加工場から搬出された。

4.3 加工場の基本仕様

4.3.1 レンガ製造に係る運転手順

加工場で実施した本格運転によるレンガ製造手順を以下に示す。

(1) 原料搬入作業

加工場に隣接する原料保管場に保管されている大型土のう袋（約 1.2ｔ～1.6ｔ）の原料をラフタークレーンにて取出し、重量測定を行った後にフォークリフトで建家２階外側の通路に仮置した。

原料は運転計画に合わせ、フォークリフトを用いて 1 袋ずつ加工場内の原料置場に搬入し、大型土のう袋を解体して原料を取り出した。

原料保管場及び原料置場における原料の取出し並びに解体手順を別添-4 に示す。

なお、原料保管場の大型土のう袋は遮水シートで覆い、積み重ねて 2640 袋を保管しており、大型土のう袋は、間詰土、ビニールシート及び階段積み部分は大型土のう袋 2 袋はネットで固縛しており、これらを取り除いた後に取り出した。なお、間詰土は、「Ⅱ．安定生産確認運転」でその効果を確認した 10 トンバキュームカーを用いて処理した。

(2) 大型土のう袋の前処理作業及び原料の粗混合作業

原料の前処理作業を２ヶ所ある原料置場の片方で実施し、竹木根等の異物の除去及び岩塊の選別が行われた原料を順次もう一方の原料置場に移動し、大型土のう袋 14 袋～18 袋からなる原料を、ホイルローダーを用いて粗混合を実施した。

(3) 原料調整工程作業

粗混合された原料を原料調整工程で高炉スラグを原料に対し約 6%添加し、ロールクラッシャー等の粉砕機を用いて 2.3㎜ 以下の粒度に調整した。スクリーンフィーダーでは、加水量を調整しながら練り込みを実施し、原料の調整を行った。

(4) 混練工程作業

原料調整工程で調整された調整原料に、原料に対しセメント約 17%及び顔料（セメント量に対し 3%）、硬化剤（セメント量に対し 3%）及び遅延剤（セメント量に対し 2%）を加え、レンガ形状に成形するために必要な原料の均一性及び可塑性を得るために混練する。

本工程は、十分な可塑性を得るため、原料を混練機に 2 回通し、工程への供給はバッチ処理によって行う。

(5) 成形工程作業

混練工程でセメント等の添加物が添加され、十分に混練された原料を真空押出機に供

給し、押出成形されたレンガ生地を、荒切した後、面取り切断を行い、最終的なレンガ形状として養生パレットに積載する。

なお、切断時に生じた切り屑等は、工程に戻す。

(6) 乾燥工程作業

養生パレット上に並べられた成型品を養生台車に最大 512 個を積み重ね、自然乾燥を行う。

(7) 梱包・養生工程作業

ハンドリング出来る硬さになったら、レンガを目視検査（外観検査）し、レンガ 480 個を搬出用パレット上にエアーバランサー等で積み込み、運送時の荷崩れ防止のため、ラッピングテープで梱包し、レンガ保管エリアで養生。

なお、目視検査で不良品と判断されたレンガは、別途保管し、粉砕した後に原料置場の原料に合わせ粗混合を行い原料とした。

(8) 搬出工程

梱包したレンガを、フォークリフトを用いて大型トラック等に積み込む。

(9) 品質管理業務

① 調整原料の線量測定（調整原料工程運転終了の都度）

② 製造したレンガの線量測定（梱包毎）

③ 製造したレンガの圧縮強度試験

製造日毎におけるレンガ製造の前期、中期、後期に製造したレンガを養生台車から各々3 個を抜取り、合計 9 個のレンガを 1 サンプルとして、28 日間養生した後に圧縮強度を確認した。

④ 製造したレンガの寸法及び重量検査

製造日毎におけるレンガ製造の前期、中期、後期に製造したレンガを養生台車から各々2 個を抜取り、合計 6 個のレンガを 1 サンプルとして、28 日間養生した後に重量測定及び寸法測定を実施した。

4.4 平成２１年度の運転実績

4.4.1 平成 21 年度の運転

平成 21 年 4 月 1 日から運転員 9 名で、7 月 15 日から本格運転を開始するまでの間、原料保管場から 198 袋の大型土のう袋を取り出し、原料の前処理作業である竹木根等の除去及び岩塊の選別作業を行い、原料の粉砕作業を実施した。また、レンガ搬出に係る対応及びレンガ製造に向けた運転準備を行った。

平成 21 年 7 月 15 日から本格運転を開始し、平成 21 年 12 月 25 日までレンガの製造運転を実施した。平成 22 年 1 月～3 月の冬期間は保守期間として 3 名の運転員で施設の管理、除雪、レンガ製造機器の保守及び運転再開に向けた準備を実施した。

また、保守期間内にレンガ製造設備機器の点検保守を実施した。また、ロール面の偏摩耗を補修するためにロールクラッシャーからロール（2 個:1 組）を取り外し、加工メーカーにてロール面の切削を行った。

平成 21 年度のレンガ製造運転は、12 月末で運転を終了する計画であったが、平成 22 年 3 月 10 日から運転を再開した。

4.4.2 平成 21 年度の運転データ

(1) 原料置場から取り出した大型土のう袋　　1,128 袋
　1) 原料の総重量　　：1,437,443kg
　2) 原料 1 袋当たりの平均重量　　：　1,274kg
(2) 混練成形した大型土のう袋　　1,060 袋
(3) 副原料の使用量
　1) 普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（住友大阪ｾﾒﾝﾄ㈱）　：　259,824Kg
　2) 高炉ｽﾗｸﾞ（新日鉄中部ｴｽﾒﾝﾄ㈱）　：　87,155Kg
　3) 顔料 赤　（森下弁柄 121K）　：　3,211Kg
　　ﾌﾞﾗｳﾝ（森下弁柄 CB-550K）　：　2,427Kg
　　ﾍﾞｰｼﾞｭ(森下弁柄 CB-700K)　：　2,237Kg
　4) 硬化剤（亀井製陶㈱　ｱﾄﾞｿｲﾙ）　：　4,434Kg
　5)遅延剤（竹本油脂㈱　HP-11R）　：　4,680Kg
(4) レンガ製造総数　：605,432 個
　(内訳)
　　①赤レンガ　：246,704 個
　　②ﾌﾞﾗｳﾝﾚﾝｶﾞ　：183,695 個
　　③ﾍﾞｰｼﾞｭﾚﾝｶﾞ：175,033 個
(5) レンガの搬出数　：604,416 個

4.4.3 レンガの品質管理

(1) 圧縮強度試験結果

製造日毎におけるレンガ製造の前期、中期、後期に製造したレンガを養生台車から各々3 個を抜取り、合計 9 個のレンガを 1 サンプルとして、28 日間養生した後に圧縮強度を確認した。

各レンガの圧縮強度の範囲は、13.92 N/mm^2～29.00N/mm^{2}で、平均値は、21.91 N/mm^{2}であった。

表 4.1 に JIS R 1250 普通レンガの品質（圧縮強さ）を示す。

表 4.1　普通レンガの品質（圧縮強さ）（参考：JIS R 1250）

	2 種	3 種	4 種
圧縮強さ N/mm^2	15.0 以上	20.0 以上	30.0 以上

(2) 線量測定結果

原料となる方面掘削土は、方面捨石たい積場から加工場の原料保管場に搬入される際に大型土のう袋の表面線量を測定した上で原料保管場に保管された。1 製造日当たりに処理する大型土のう袋は約 18 袋で、大型土のう袋の線量の平均値が、0.3μSv/h を超

えないように予め組合せを調整した上で原料保管場から取り出しを行った。

1) 調整原料の測定結果

調整原料工程は 59 回の運転を実施しており、調整原料を作成した都度、調整原料置場において、調整原料４ポイントの線量測定を実施した。

各調整原料の線量は 0.25μSv/h～0.46μSv/h の範囲で、平均値は、0.34μSv/h であった。なお、測定した線量値は BG（0.1μSv/h 程度）を含んだ値である。

2) レンガの線量測定結果（梱包毎）

製造されたレンガは、木製ﾊﾟﾚｯﾄ(1.1m×1.1m×0.15m)にレンガ 480 個を積み重ね、ﾗｯﾋﾟﾝｸﾞﾃｰﾌﾟにて梱包した。梱包毎に上部 1 点及び側面各 1 点の 4 点の中央部を線量測定点として線量測定を実施した。

レンガの梱包毎における線量は、0.17μSv/h～0.36μSv/h の範囲で、平均値は、0.26μSv/h であった。なお、測定した線量値は BG (0.1μSv/h 程度) を含んだ値である。

(3) レンガの重量と寸法測定結果

レンガ製造日における前期、中期、後期に製造されたレンガを養生台車から各々2 個を抜取り、合計 6 個のレンガを１サンプルとして、28 日間養生した後に重量測定及び寸法測定を実施した。

レンガの重量は 2.360kg～2.579kg の範囲であった。

また、寸法検査については、JIS R 1250 に準拠して実施し、全て普通レンガの寸法許容差内であることを確認した。

表 4.2 に JIS R 1250 普通レンガの品質（寸法及び寸法許容差）を示す。

表 4.2　普通レンガの寸法及び寸法許容差

	長さ	幅	厚さ
寸法(mm)	210	100	60
許容差(mm)	±5.0	±3.0	±2.5

4.5　平成 22 年度の運転実績

4.5.1　平成 22 年度の運転

平成 22 年 4 月 1 日から運転員 11 名により土曜日及び祝日も運転を行い、平成 22 年 12 月 13 日に原料である方面掘削土を全てレンガに加工してレンガの製造運転を終了した。

レンガ製造機器の点検保守については、簡易点検として 8 月にレンガ製造機器の点検を実施した。また、ロールクラッシャーロール面の偏摩耗が大きくなったことから、簡易点検時に交換用のロールと交換した。

運転終了後は、レンガ製造機器内のセメント等の副原料を供給機からの抜き出し、レンガ製造機器等の清掃、加工場内の物品の整理・清掃及び片付けを実施した。

平成 23 年 1 月～3 月は、運転員 2 名により加工場内の整理すると共に、運転データの取りまとめ、一般頒布に伴うレンガの搬出対応を実施し、運転を終了した。

4.5.2 平成 22 年度の運転データ

(1) 原料置場から取り出した大型土のう袋　　1,374 袋
　1) 原料の総重量　　：1,819,632kg
　2) 原料 1 袋当たりの平均重量　　：1,324kg
(2) 混練成形した大型土のう袋　　1,442 袋
(3) 副原料の使用量
　1) 普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（住友大阪ｾﾒﾝﾄ㈱）　：424,384Kg
　2) 高炉ｽﾗｸﾞ（新日鉄中部ｴｽﾒﾝﾄ㈱）　：133,549Kg
　3) 顔料 赤　（森下弁柄 121K）　：5,858Kg
　　ﾌﾞﾗｳﾝ（森下弁柄 CB-550K）　：3,234Kg
　　ﾍﾞｰｼﾞｭ(森下弁柄 CB-700K)　：3,774Kg
　4) 硬化剤（亀井製陶㈱ ｱﾄﾞｿｲﾙ）　：8,800Kg
　5) 遅延剤（竹本油脂㈱ HP-11R）　：7,020Kg
(4) レンガ製造総数　：776,432 個
　(内訳)
　　①赤レンガ　：335,488 個
　　②ﾌﾞﾗｳﾝﾚﾝｶﾞ　：193,603 個
　　③ﾍﾞｰｼﾞｭﾚﾝｶﾞ：247,260 個
(5) レンガの搬出数　：736,234 個

4.5.3 レンガの品質管理

(1) 圧縮強度試験結果

平成 21 年度と同様に、製造日毎におけるレンガ製造の前期、中期、後期に製造したレンガを養生台車から各々3 個を抜取り、合計 9 個のレンガを１サンプルとして、28 日間養生した後に圧縮強度を確認した。

各レンガにおける圧縮強度の範囲は、20.17 N/mm^2～28.61N/mm^2 で、平均値は、23.00 N/mm^2 であった。

(2) 線量測定結果

原料となる方面掘削土は､方面捨石たい積場から加工場の原料保管場に搬入される際に大型土のう袋の表面線量を測定した上で原料保管場に保管された。

1 製造日当たりに処理する大型土のう袋は約 16 袋で、大型土のう袋の線量の平均値が、0.3μSv/h を超えないように予め組合せを調整した上で原料保管場から取り出しを行った。

1) 調整原料の測定結果

調整原料工程は 93 回の運転を実施しており、調整原料を作成した都度、調整原料置場において、調整原料４ポイントの線量測定を実施した。

各調整原料の線量は 0.22μSv/h～0.42μSv/h の範囲で、平均値は、0.33μSv/h であった。なお、測定した線量値は BG（0.1μSv/h 程度）を含んだ値である。

2) レンガの線量測定結果（梱包毎）

製造されたレンガは、木製ﾊﾟﾚｯﾄ(1.1m×1.1m×0.15m)にレンガ 480 個を積み重ね、

ﾗｯﾋﾟﾝｸﾞﾃｰﾌﾟにて梱包した。梱包毎に上部1点及び側面各1点の4点の中央部を線量測定点として線量測定を実施した。

レンガの梱包毎における線量は、0.17μSv/h～0.39μSv/hの範囲で、平均値は、0.27μSv/hであった。なお、測定した線量値はBG（0.1μSv/h程度）を含んだ値である。

(3) レンガの重量と寸法結果

平成21年度と同様に、製造日毎におけるレンガ製造の前期、中期、後期に製造したレンガを養生台車から各々2個を抜取り、合計6個のレンガを1サンプルとして、28日間養生した後に重量測定及び寸法測定を実施した。

レンガの重量は2.220kg～2.595kgの範囲であった。

また、寸法検査については、JIS R 1250に準拠して実施し、全て普通レンガの寸法許容差内であることを確認した。

4.6 技術面等の改善

本格運転中に、技術面及び安全面における改善を実施した。これらの改善により、効率よく作業のできる環境を整えたことで人身災害も無く、レンガ製造を計画どおりに実施することができた。

以下に、技術面、安全面及び作業面における改善点を示す。

4.6.1 原料取出作業におけるバキュームカーの導入

原料保管場に保管している原料である大型土のう袋を効率良く取り出すには、積み重ねた大型土のう袋の安定性のために敷かれている間詰土を効率よく取り除く必要があった。人手によって間詰土を掻き集めて回収する方法では、原料を大量に取りすことが困難であったことから、原料の取り出しに合わせ、大型土のう袋周辺の間詰土をバキュームカーで吸引捕集することで、1日当たり30袋程度しか取り出せなかったものが、90袋程度は取り出せるようになり、原料取出しに必要な作業日を減らすことができた。

図4.1に、人手による間詰土の除去状況、図4.2にバキュームカーによる間詰土の除去状況を示す。

図4.1 間詰土の除去状況

図4.2 ﾊﾞｷｭｰﾑｶｰによる除去状況

4.6.2　供給機ホッパー内確認用ミラーの取付

原料はショベルローダーを用いて、加工場 2 階に設置している原料供給用の供給機及び調整原料を供給する供給機のポッパー内に原料を投入し、原料及び調整原料を供給する。ホッパー内の原料がどのくらいあるのかを梯子等を用いてホッパー内を覗いて確認していたが、高所での確認作業となることから安全面での向上を図る必要があった。

改善策としてホッパー上部に鏡を取り付け、鏡に映ったホッパー内の状態を確認することで、原料の投入時期を判断できるようにした。

図 4.3 に、ホッパー上部に取付けた鏡の状況を示す。

図 4.3　ホッパー上部への鏡の設置状況

4.6.3　原料前処理作業台の導入

原料の前処理作業は、原料中に存在する竹木根等の除去及び岩塊の選別作業は、当初、原料置場の床面に原料を取り出し、かがみ込んだ姿勢での作業となっていたことから、作業効率も悪く、腰痛が出るなど作業環境の改善が必要な作業となっていた。

椅子に座って作業ができる作業台を製作し、作業環境を改善した。作業台は、ﾌｫｰｸﾘﾌﾄによる移動が可能で、天板は折りたたんで整理し易い構造とした。

作業台を使用することにより、作業効率も向上し、腰痛を訴える作業員もいなくなり、作業環境の改善が図られた。

図 4.4 に、原料前処理作業状況と作業台を示す。

図 4.4　前処理作業状況と作業台

4.6.4　真空押出機の原料過充填確認用ミラーの取付

混水混練機により調整原料と副原料が混練された原料は、真空押出機に連続的に投入されてくるが、真空押出機から成形切断されたレンガに不良品が出ると工程に戻し、真空押出機に再度投入している。

不良品が多く出ると真空押出機のホッパー内の原料が過充填となり、投入口から原料があふれだすことがあった。運転上、真空押出機の原料供給状態を監視しながら真空押出機の運転操作をする必要があり、真空押出機内の原料の状態を監視するために定期的に原料投入口を覗き込んでいたことから、鏡を真空押出機の投入口上部に取り付け、鏡に写った原料の供給状態を確認することで、安全面を含め作業効率の向上を図った。

図 4.5 に、真空押出機のホッパー上部に取付けた鏡の設置状況を示す。

図 4.5　真空押出機上部の鏡の設置状況

4.6.5　真空押出機のｲﾝﾊﾞｰﾀｰ電流値を指標とした表示ランプの取付

混練機及び真空押出機で、原料に含まれる水分量の調整は、運転員の運転経験から行っていたが、運転員が視覚的に水分量を把握できるよう真空押出機のインバーター電流値を指標とした表示ランプを設置した。

表示ランプは、混水混練機を操作する運転員及び真空押出機を操作する運転員の双方から見える位置に設置し、表示ランプを 3 色で構成し、赤・緑・黄を配置した。

各々の色は次の状態を示していた。

黄 ： 電流値オーバー（＞上限値）　　水分量不足で生地が硬い状態
緑 ： 電流値適正範囲（上限値～下限値）水分量が適正な状態値オーバー
赤 ： 電流値アンダー（＜上限値）　　水分量過多で生地が硬い状態

電流値表示ランプの取付により、運転員による原料状態の確認及び表示ランプ値を見ながら水分量の調整を実施したことで、安定してレンガの製造運転が出来、作業効率の向上が図られた。

図 4.6 に、真空押出機のインバーター電流値の表示ランプの設置状況を示す。

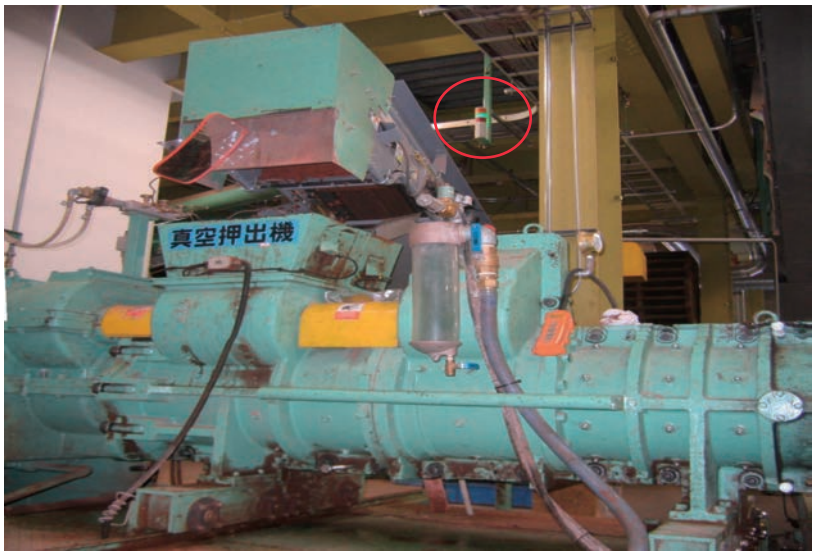


図 4.6　インバーター電流値 表示ランプの設置状況

4.6.6　成形工程における不良品レンガの選別

レンガの大きさに成形切断されたレンガは、養生台車上で自然養生され、その後、不良品レンガの選別をしながら手作業でパレット上にレンガ積みを行っていたが、レンガの選別に時間をとられ、作業時間内にレンガの積込み作業が終了しない問題が生じた。

レンガの選別に時間をとられないようにするために、成形工程においてレンガ成形切断後に不良品レンガを選別するように改善したことで、パレット積込み時におけるレンガの選別に時間を取られなくなり、1 日の作業時間内に約 1 万個のレンガをパレット上に積込むことが可能となった。

図 4.7 に、不良品レンガの選別作業状況を示す。

図 4.7　不良品レンガの選別状況

4.7　レンガの製造及び搬出

レンガの製造個数は、平成20年度に実施した試運転で17,465個、安定生産確認運転で50,158個のレンガを製造した。

平成21年度から開始した本格運転では、平成21年度に605,432個、22年度に776,351個を製造し、方面掘削土を原料として製造したレンガの総数は、1,449,406個となった。

製造したレンガは、一般頒布を行うと共に、レンガの試用としてレンガによる室内花壇や傘立等を製作し、文部科学省及び機構の拠点等に広く設置し、一般の方々に対し人形峠製レンガの安全性に対する理解の促進に役立てた。

機構の拠点で約52万個が歩道や駐車場等の整備に使用され、一般頒布として約93万個が搬出された。

人形峠製レンガの設置、敷設例として、機構ホームページ上に掲載された、「人形峠製レンガの設置・敷設例」を別添-5に示す

4.8　加工場の解体・撤去及び跡地整備

平成23年6月30日に加工場に保管していたレンガが全て搬出されたことにより、加工場としての施設が廃止された。

施設の廃止により、レンガ製造設備機器の撤去を平成23年7月から開始し、8月5日に全てのレンガ製造設備機器を加工場内から撤去した。

撤去したレンガ製造設備機器は、センター内に一時保管した後に、中古機器として売却を行った。

加工場の建家解体及び跡地整備工事は、平成23年9月20日に建家解体工事に着手し、平成23年11月11日に加工場建家の解体撤去を完了した。

引き続き跡地整備工事を進め、コンクリートブロックによる擁壁の設置、盛土による法面の整形、排水路の整備並びに法面緑化工事等が行われ、平成24年6月25日に竣工した。

なお、鳥取県から借地した用地は、平成24年6月30日に返還し、「方面ウラン残土の措置に関する協定書」で定められた約束を全て履行することが出来た。

別添-5に、加工場建家解体及び跡地整備工事の状況を示す。

５．まとめ

加工場では、レンガ製造設備機器の能力や製造したレンガ製品の良否を確認した試運転及びレンガの安定生産を確認する安定生産確認運転を行った上で、本格運転を実施し、約 145 万個のレンガを製造した。

製造したレンガは、機構拠点等で約 52 万個を使用し、一般に約 93 万個を頒布して、平成 23 年 6 月 30 日に全数を加工場から搬出した。

また、加工場の建家解体及び跡地整備を平成 24 年 6 月 25 日に完了し、平成 24 年 6 月 30 をもって敷地を鳥取県に返還し、「方面ウラン残土の措置に関する協定書」で定められた約束を全て履行することが出来た。

謝　辞

「方面ウラン残土の措置に関する協定書」にある、加工場の建設及びレンガの製造と搬出並びに加工場の解体と跡地整備を期限内に履行することができたのも、レンガ製造に携わった運転員の方々の努力と、計画通り加工場の建家建設と跡地整備工事等を実施していただいた建設部の方々並びにレンガの製造、搬出等に対し御指導、御支援していただきました関係者、関係各部署の方々に感謝を申し上げ、ここに、記して深く謝意を表します。

参考文献

（１）財）原子力安全技術センター：レンガ製品の物性確認試験報告書（独立行政法人日本原子力研究開発機構役務試験・評価報告書）（平成 20 年９月）

（２）日本工業標準調査会：ＪＩＳ Ｒ 1250：2000　普通レンガ

（３）日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 7 メーソンリー工事

（４）黒沼長助：，月刊エネルギーレビュー vol.336；2009 年 1 月号「人形峠・ウラン残土は今」

（５）岡田敏夫：月刊エネルギーレビュー vol.355；2010 年 8 月号「順調に進む人形峠製レンガの加工と使用」

付録

別添 - 1

方面捨石たい積場に関する経緯（概略）

昭和 63 年 8 月、鳥取県東郷町（現:湯梨浜町）方面地区において、昭和 30 年代の当機構の前身である原子燃料公社時代のウラン探査活動によって発生した捨石（ウラン残土）から、放射線が発生しているとの報道を契機に社会問題化し、方面地区住民との話合いにより、平成 2 年 8 月、方面捨石たい積場にあるウラン残土約 3,000m³について「関係自治体の協力を得て、撤去する」旨の協定を方面区自治会と締結した。

機構は、協定を履行すべく、方面地区周辺などに撤去先を見つける努力をしたが、受入れ先である地元の協力が得られず、解決には至らなかった。

平成 12 年 11 月、方面区自治会が機構に対して、上記協定の履行を求め鳥取地裁に提訴し、平成 16 年 10 月、最高裁において、ウラン残土約 3,000m³撤去を命じた鳥取地裁判決が確定した。

平成 14 年 6 月、鳥取地裁は、機構に対し方面区と約束したウラン残土約 3,000m³の全量撤去を求めた。機構はこの判決を不服とし広島高裁へ控訴したが控訴棄却の判決により最高裁へ上告していたが上訴を斥け、鳥取地裁は、平成 16 年 12 月、撤去を命じた確定判決に基づき、ウラン残土約 3,000m³のうち約 290m³の撤去期限を平成 17 年 3 月 10 日、残りの約 2,700m³を平成 18 年 5 月末と設定し、期限を過ぎた場合、機構は強制金を方面自治会に支払う決定を発出した。

撤去するウラン残土約 290m³は、方面捨石たい積場の貯鉱場跡地に残されていた「ウラン鉱物を含む集積物」で、平成 5 年にフレコンバックに収納する作業を行い、方面捨石たい積場内に保管場を設け保管していた。平成 17 年 9 月 17 日に方面捨石たい積場から約 290m³を全て撤去し、米国の製錬会社に輸送し製錬を実施した。

残りのウラン残土約 2,700m³は、平成 18 年 4 月、文部科学省局長と機構理事長が鳥取県知事にウラン残土をレンガに加工し、搬出する協力要請を行い、片山知事がウラン残土をレンガに加工する提案を基本的に受入れたことで、平成 18 年 5 月 31 日に文部科学省、鳥取県、三朝町及び機構の 4 者間で「方面ウラン残土の措置に関する協定書」が調印された。

これにより、積年の課題であった方面問題に係る解決に目途がつき、方面捨石たい積場から掘削土約 2,700m³を撤去し、人形峠レンガ加工場の建設、レンガの製造、レンガの搬出、加工場の解体・撤去並びに跡地整備を行い、平成 24 年 6 月 30 日に借地していた加工場跡地を鳥取県に返還し、協定を履行した。

なお、レンガ製造に係る実績として、表－1 に「加工場の建設と運転に係る実績」及び表－2 に「加工場の建家解体・跡地整備に係る実績」を示す。

表 - 1　加工場の建設と運転に係る実績

年度･月 / 建家･設備	１８年度	19年度	20年度	21年度	22年度
人形峠レンガ加工場の建設	▲5/31四者協定 設計	加工場建設 ▲5/18安全祈願祭	▲3/13竣工		
レンガ製造設備機器の設置・試運転	標準設計	6月 7月 設計・製作・据付・試運転 ▲2/20機器搬入据付 ▲3/26機器調整 ▲4/14試運転開始 ▲4/28加工場開所式			
レンガ製造運転			試運転（4/14～5/10） 安定生産確認運転（10月～12月）	本格運転 ▲7月運転開始	▲ 12/13運転終了

表 - 2　加工場の建家解体・跡地整備に係る実績

年度・月 / 項　目	22年度 10月	11月	12月	1月	2月	3月	23年度 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	24年度 4月	5月	6月
人形峠レンガ加工場			▲12/13運転終了 （約145万個製造）							▲6/30 レンガ搬出完了（施設廃止）											
レンガ製造設備機器の撤去										機器撤去（センター内保管） ▲7/4撤去開始	▲8/5完了										
レンガ製造設備機器及び建家スクラップの売却															▲11/29機器売却【撤出終了】				建家ｽｸﾗｯﾌﾟ売却【搬出】		▲	
建家解体・跡地整備工事														建家解体・跡地整備						6/25竣工▲	
														▲11/11建家解体終了							

別添－2

レンガ加工場の人員配置・製造サイクル

22年度における運転員9名（+2名）、除根作業員6名体制（10万個/月産）　　10万個/月のレンガを製造するのに必要な掘削土は、約180袋(原料として約234t）が必要

		原料処理（2F）　－8:30～17:00－					成型加工（1F）　－8:30～17:00－								備考
作業工程の流れ		土のう取出し（180袋）	除根作業（180袋）	原料投入＆粉砕	調整原料（スクリーンフィダー）	スクリーンフィダーの整備等	調整原料供給・放射線測定（2F）	混練	真空押し出し	切断	形状確認	養生台管理	梱包・出荷（210ﾊﾟﾚｯﾄ）	総括管理	
単位作業能力		90袋/8名・日	1.5袋/1名・日	7.5h/3名		7.5h/2名	7.5h/1名	7.5h/2名		7.5h/2名		7.5h/1名	7.5h/21ﾊﾟﾚｯﾄ/5名		
月産作業量		(90袋/8名)*2日＝180袋	(1.5袋/1名)*120名＝180袋	機器の運転・監視 ・ｼｮﾍﾞﾙﾛｰﾀﾞｰ（原料の供給、原料の粗混合） ・ﾌｫｰｸﾘﾌﾄによる大型土のう袋の運搬） ・高炉ｽﾗｸﾞ供給機 ・粉砕機	機器の運転・監視 ・ｽｸﾘｰﾝﾌｨﾀﾞｰ（原料の水分調整） ・線量測定（品質管理）	スクリーンフィダーの清掃、スクリーンの交換を実施	機器の運転・監視等 ・ｼｮﾍﾞﾙﾛｰﾀﾞｰ（調整原料の供給） ・調整原料の線量測定（品質管理）	機器の運転・監視等 ・混練機（調整原料の水分調整） ・副原料供給機	機器の運転・監視等 ・押出し機（水分調整）	機器の運転・監視等 ・切断機（離型剤の塗布）	機器の運転・監視等 ・レンガ移載機 ・不良品レンガの工程への戻し	機器の運転・監視等 ・レンガ移載機への養生台車のセット、移動 ・パレット供給機へのパレットの供給	（7.5h）*21ﾊﾟﾚｯﾄ*10回=210ﾊﾟﾚｯﾄ（レンガ約100,000個） ・1ﾊﾟﾚｯﾄ、480個 ・1ﾊﾟﾚｯﾄ毎の線量測定（品質管理）	保安、作業工程等の管理作業	
第1週目	1日目	8名												1名	・除根作業は、運転員9名の契約とは別契約にて実施する。作業量に応じて機構が作業日及び作業人数（1～6名）を指定・要請する。 ・本製造サイクルによる月産量は、レンガ加工場スペック（1万個/2日）から、(24日－土のう取出し2日）÷2×1万個=11万個（最大製造量）となる。
	2日目		6名	3名									5名	1名	
	3日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	4日目		6名	3名									5名	1名	
	5日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	6日目		6名	3名									5名	1名	
第2週目	1日目		6名				1名	2名		2名		1名		1名	
	2日目		6名	3名									5名	1名	
	3日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	4日目		6名	3名									5名	1名	
	5日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	6日目			3名									5名	1名	
第3週目	1日目	8名												1名	
	2日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	3日目		6名	3名									5名	1名	
	4日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	5日目		6名	3名									5名	1名	
	6日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
第4週目	1日目		6名	3名									5名	1名	
	2日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	3日目		6名	3名									5名	1名	
	4日目		6名			2名	1名	2名		2名		1名		1名	
	5日目		6名	3名									5名	1名	
	6日目					2名	1名	2名		2名		1名		1名	

運転員11名の週間シフト表

	運転員A	運転員B	運転員C	運転員D	運転員E	作業員F	作業員G	作業員H	作業員I	作業員J	作業員K	出勤人数
1日目	休日	○	○	○	○	○	休日	○	○	○	○	9
2日目	○	休日	○	○	○	○	○	休日	○	○	○	9
3日目	○	○	休日	○	○	○	○	○	休日	○	○	9
4日目	○	○	○	休日	○	○	○	○	○	休日	○	9
5日目	○	○	○	○	休日	○	○	○	○	○	休日	9
6日目	○	○	○	○	○	休日	○	○	○	○	○	10
（日曜日）	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日	休日

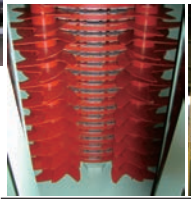
◎　上記週間シフト表を基本に受注者にて運転員11名のやり繰りを実施する。また、レンガ加工場の運転についても、上記サイクルを基本に、受注者で運転調整を実施する。

別添－3

レンガ製造フローシート

高炉スラグ

1.24t/20t



原料保管場

原料搬入（除根、岩塊選別）

14袋～18袋粗混

原料保管

20t投入／2日分以

原料供給

石抜機

＋30mm

スーパークラッシャー

破砕

－30mm

－10mm

ロールクラッシャー

粉砕

－ 2.3 mm

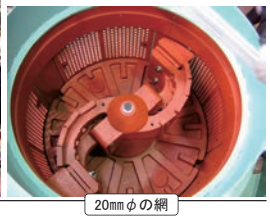
10mmの網目に擦り込む

線量測定

練り混み

スクリーンフィーダー

調整原料保管



21.2t／2日分保管

感触・経験により可塑性を確

スケールコンベア

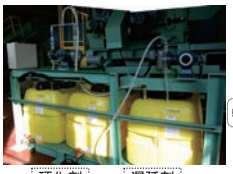
調整原料の供給

1.15t×19バッチ

20mmφの網

セメント

顔料


硬化剤

遅延剤

0.07t/20t

0.10t/20t

0.10t/20t

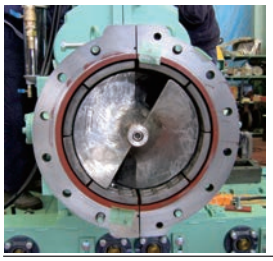
3.45t/20t

顔料の色で均質化を確認

2回

混練

混水混練機



隔日25.0t／日分

約85mmHg

真空押出機

真空ポンプ

成形

切断器

不良品の目視確認

約2.6kg／個

静置

1日静置

養生台車

線量測定

隔日約1万個／日

梱包毎(480個)
線量測定

梱包

1～2週間静置

梱包・静置

搬出

搬出

圧縮試験
（材齢28日）

別添－4

原料の取出し及び解体作業手順

人形峠レンガ加工場の原料保管場からの原料の取出し、加工場内への原料搬入及び大型土のう袋の解体作業に係る作業手順を以下に示す。

１．原料の取出し

(1)原料保管場から大型土のう袋を取出すため、遮水シート飛散防止単管パイプ取り除いた後に遮水シートを取り外す。［写真１－①］

(2)地震時の安定用補強のために２袋を網で括っているため、その網と遮水のため大型土のう袋を包んでいるビニールシートを取り除く。［写真１－②］

(3)25ton ラフタークレーンを据え付け、大型土のう袋を吊り下ろし、パレット上に載せる。［写真１－③］

(4)ラフタークレーンのフックにロードセルをかけ、大型土のう袋を吊り下げて重量測定を行う。［写真１－④］

(5)フォークリフトにて建家２階外側の通路に保管し、運転に合わせ加工場内の原料置場に原料を搬入する。［写真１－⑤］

写真１－①

写真１－②

写真１－③

写真１－④

写真１－⑤

２．大型土のう袋の解体作業

(1)原料置場において、大型土のう袋を接地させた状態で、その下部を横方向に切断する　[写真２－①]。切断は電動サンダーで行い、周囲 270 度程度を切断する。

(2)大型土のう袋を地切り寸前まで引き上げ、状況を確認する［写真２－②]。

※大型土のう袋の吊り紐をフォークリフトの爪にかける際には、滑り止め措置として、紐を爪に１回巻きつけるように掛ける。[写真２－③]

(3)周囲に作業者がいないことを確認し、大型土のう袋をゆっくりと引き上げる。

(4)大型土のう袋内の掘削土が自重で落下するため、大型土のう袋だけを引き上げる。[写真２－④]

写真２－①

写真２－②

写真２－③

写真２－④

別添－５

加工場建家解体及び跡地整備工事の状況

【加工場跡地整備後の状況】

建家撤去前の加工場

建家撤去後の跡地整備状況

整備前の原料保管場

整備後の原料保管場

【建家解体の状況】

建家内(2 階)の解体

建家(２階)の解体

建家(２階)の解体

建家(２階)の解体

建家(1 階)の解体

建家(1 階)の解体

【跡地整備の状況】

擁壁の設置状況

盛土の状況

盛土の状況

法面の整形

法面の整形

法面の整形

緑化シートの敷設

緑化シートの敷設

緑化シートの敷設

加工場跡地の緑化状況

整備後の加工場跡地全景

別添－６

人形峠製レンガの設置・敷設例

平成 23 年６月末現在

日本原子力研究開発機構　本部・拠点での使用例

本部（東京含む）　約1．3万個

大洗研究開発センター　約24．4万個（施工計画に則った保管数量含む）

那珂核融合研究所　約15．8万個

J-PARC センター　約3．8万個

関西光科学研究所　約2．2万個

高崎量子応用研究所　約1．7万個

東海研究開発センター、人形峠環境技術センター　約0．3万個（室内花壇等）

官庁・自治体・大学での使用例　約2．5万個

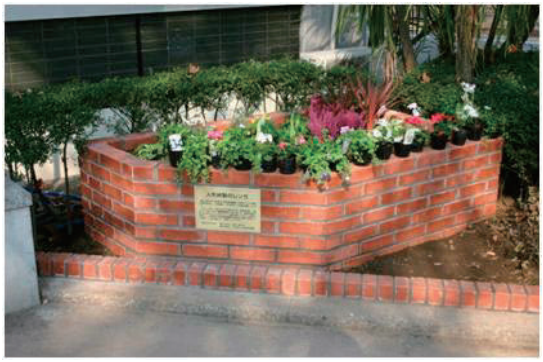
文部科学省

農林水産省

三朝キュリー公園（鳥取県三朝町）

茨城県大洗町

東京工業大学



大阪大学

一般頒布での使用例　　**約92．7万個（搬出時期調整中含む）**

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度(a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(b)	（数字の） 1	1
比透磁率(b)	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s^{-2}
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	m^{-1} kg s^{-2}
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	m^2 kg s^{-2}
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	m^2 kg s^{-3}
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	m^2 kg s^{-3} A^{-1}
静電容量	ファラド	F	C/V	m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m^2 kg s^{-3} A^{-2}
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m^2 kg s^{-2} A^{-1}
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
酸素活性	カタール	kat		s^{-1} mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m^2 kg s^{-2}
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s^{-2}
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m^{-1} s^{-1}=s^{-1}
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2}=s^{-2}
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s^{-3}
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m^2 s^{-2}
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s^{-3} K^{-1}
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	m^{-3} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	kg^{-1} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m^2 s^{-3}
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-3}=m^2 kg s^{-3}
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m^2 m^{-2} kg s^{-3}=kg s^{-3}
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}$ J
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}$N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1Pa s
ストークス	St	1 St =$1cm^2$ s^{-1}=$10^{-4}m^2$ s^{-1}
スチルブ	sb	1 sb =1cd cm^{-2}=10^4cd m^{-2}
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm^{-2} 10^4lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s^{-2}=$10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1G cm^2=10^{-8}Wb
ガウス	G	1 G =1Mx cm^{-2} =10^{-4}T
エルステッド(c)	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)$A m^{-1}

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	$1\ \gamma=1\ nT=10\text{-}9T$
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー） 4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています